



Potencjał Naukowy w Polsce w zakresie monitorowania i minimalizacji zagrożeń związanych z zatopioną bronią chemiczną

Dr Michał Czub

Zakład Ekologii Morza

Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk

Zakład Hydrobiologii, Wydział Biologii

Uniwersytet Warszawski

BROŃ CHEMICZNA

czynnik rażący – **Bojowy Środek Trujący (BST)**

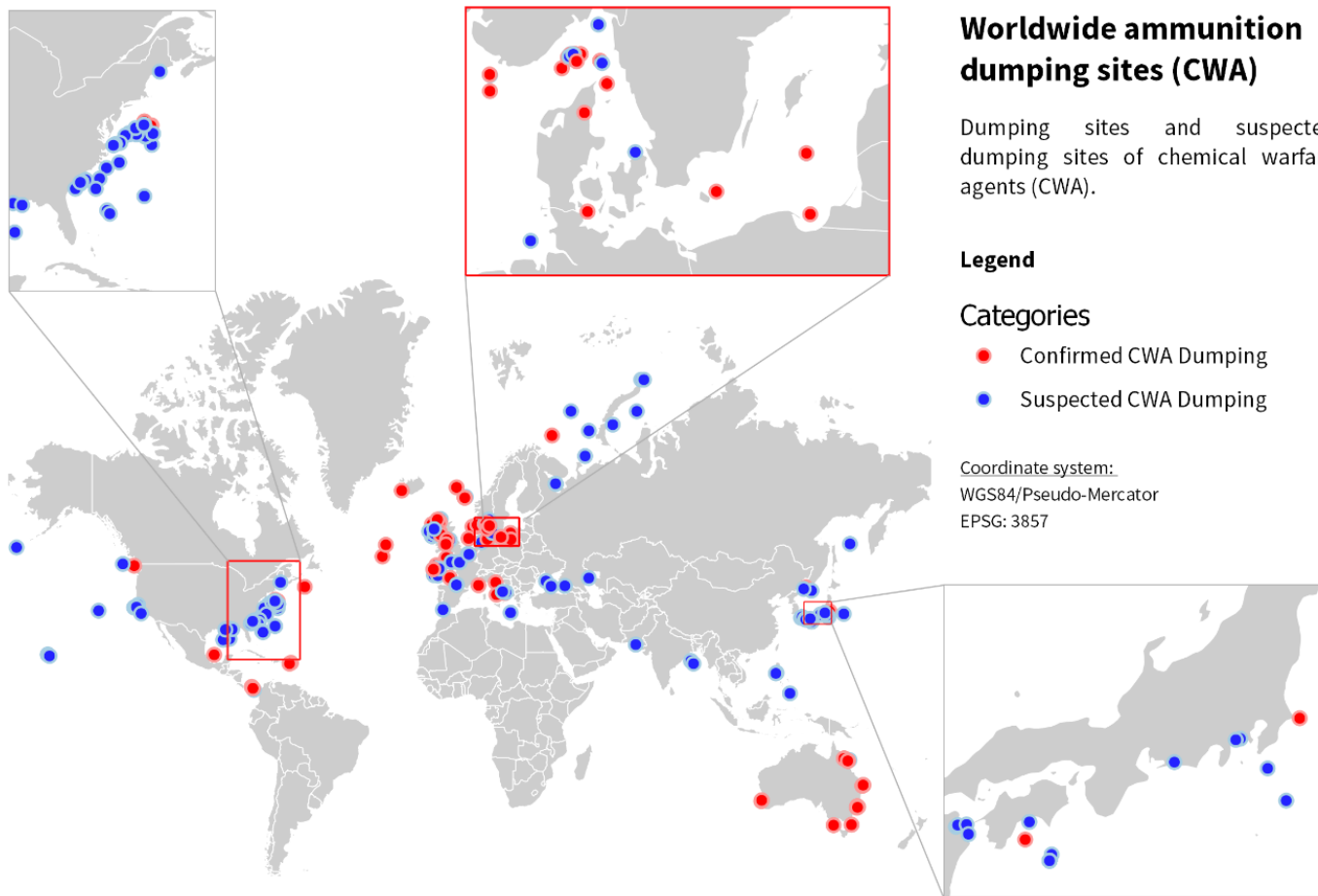
o toksycznych właściwościach dla ludzi i organizmów lądowych

Tuż po II Wojnie Światowej w arsenałach wojsk na całym świecie miało znajdować się nawet **500 000 ton BST**.

Wymagały:

bezpiecznej, szybkiej, a przede wszystkim MASOWEJ UTYLIZACJI.

Z perspektywy lądu głębie morze i oceanów były wtedy niedostępnymi, a więc i najbezpieczniejszymi miejscami ich „**SKŁADOWANIA**”.



„NEUTRALIZACJA” przez zatopianie:

BST często są **słabo rozpuszczalnymi** w wodzie **ciałami stałymi** lub **cieczami**, a także mogą ulegać gwałtownej **hydrolizie**.

Prognozowane przeciekanie miało się zacząć nie wcześniej niż za 70 lat od ich zatopienia.

Na świecie znajduje się **od 127 do ponad 300** takich podwodnych składowisk.

MORZE BAŁTYCKIE – SKŁADOWISKO BRONI CHEMICZNEJ



źródło: <http://www.chemsea.eu>

Najważniejsze informacje:

Ograniczona wymiana wód ze Wszechocyanem, przybierająca m. in. formę *quasi*-cyklicznych **wlewów** z Morza Północnego

Zaniki rozpuszczonego tlenu poniżej halokliny (>70m), powstawanie „**pustyń tlenowych**”

Oficjalne składowiska:

Głębina Bornholmska (>90m)

Głębina Gotlandzka (>100m)

Neoficjalnie:

Głębina Gdańska (>90m)

Znikoma aktywność biologiczna = niska biodostępność BST

Tuż po zakończeniu działań wojskowych podczas II Wojny Światowej, Konferencja Poczdamska podjęła decyzję o zatopieniu w **Morzu Bałtyckim** **50 000 ton** broni chemicznej wchodzącej w skład arsenału III Rzeszy, z czego **15 000 ton** stanowiły **Bojowe Środki Trujące** (Knobloch et al. 2013).

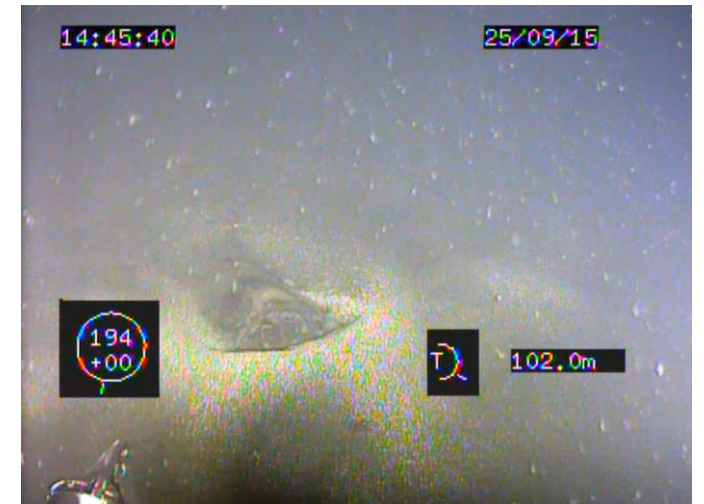
Nawet **60 - 80%** stanowił **iperyt siarkowy** (HD)

pozostałe: fosforoorganiczny **Tabun**,
 zawierające arsen **Luizyt** , **Adamsyt**, **PDCA** oraz **Clark I**.

W samym tylko sąsiadującym z Morzem Bałtyckim Skagerraku zatopiono ponad 200 000 ton broni chemicznej.



źródło: <http://www.wikipedia.org>



MORZE BAŁTYCKIE
OGÓLNOŚWIATOWY
POLIGON BADAWCZY
2005 - 2021





Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Deep sea habitats in the chemical warfare dumping areas of the Baltic Sea

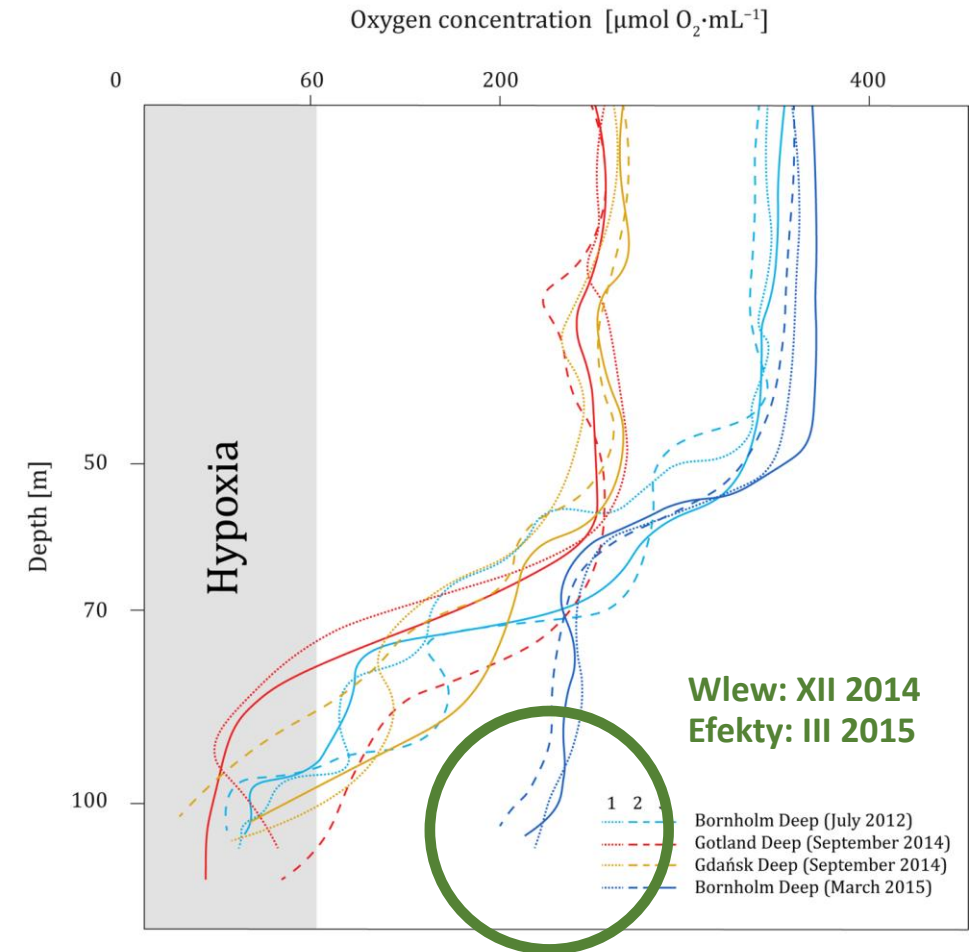
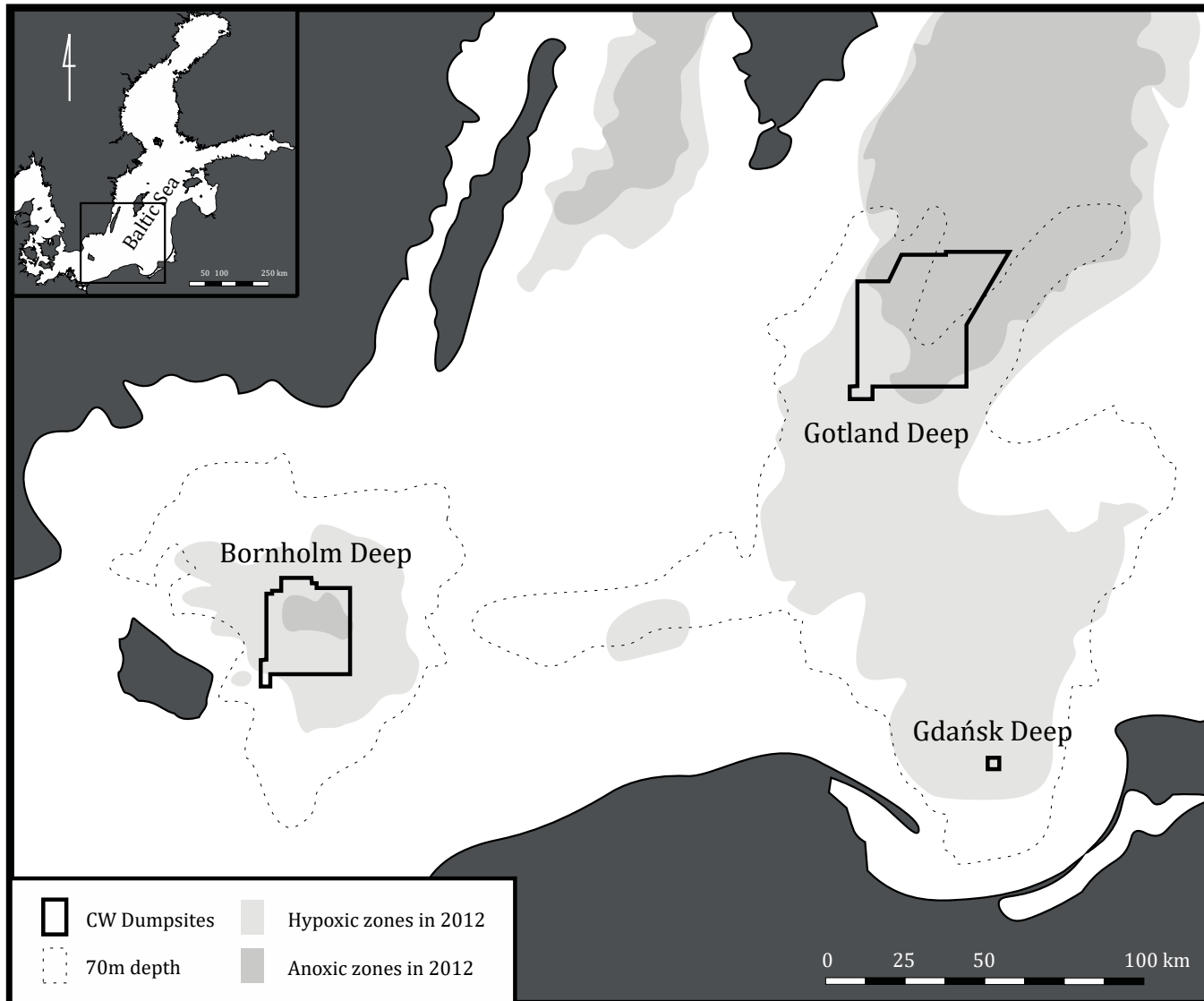


Michał Czub ^{a,*}, Lech Kotwicki ^a, Thomas Lang ^b, Hans Sanderson ^c, Zygmunt Klusek ^a, Miłosz Grabowski ^a, Marta Szubska ^a, Jaromir Jakacki ^a, Jan Andrzejewski ^a, Daniel Rak ^a, Jacek Bełdowski ^a

^a Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences, Powstańców Warszawy 55, 81-712 Sopot, Poland

^b Thünen Institute of Fisheries Ecology, Deichstraße 12, 27472 Cuxhaven, Germany

^c Aarhus University, Department of Environmental Science, 399 Frederiksborgvej, 4000 Roskilde, Denmark

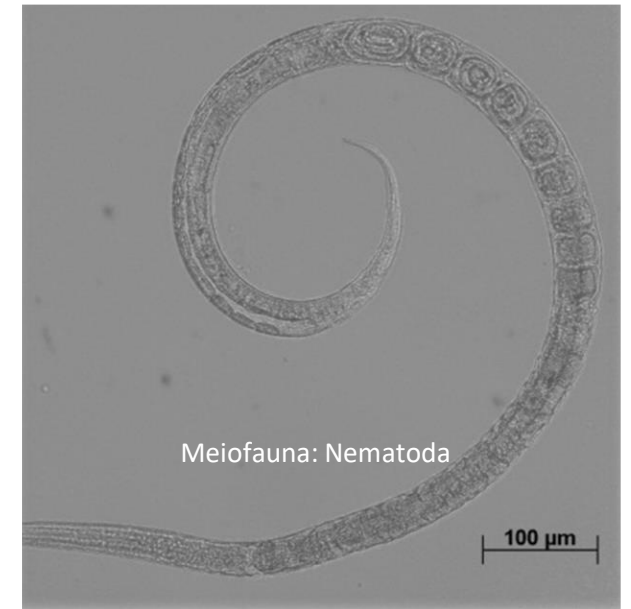


Dostępność rozpuszczonego tlenu
poniżej halokliny regulowana jest przez
Wlewy Bałtyckie z Morza Północnego

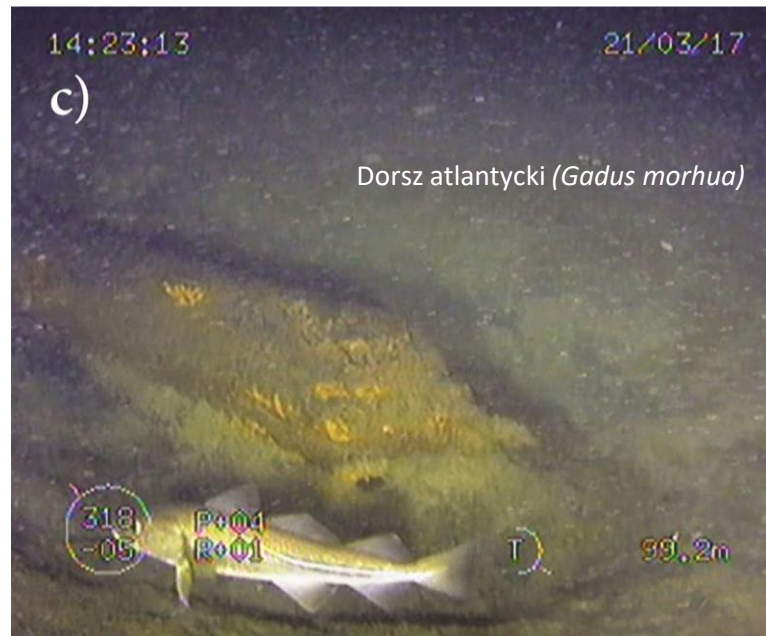
Typowy stan biocenozy na obszarach zatapiania broni chemicznej

niska bioróżnorodność
meiofauny

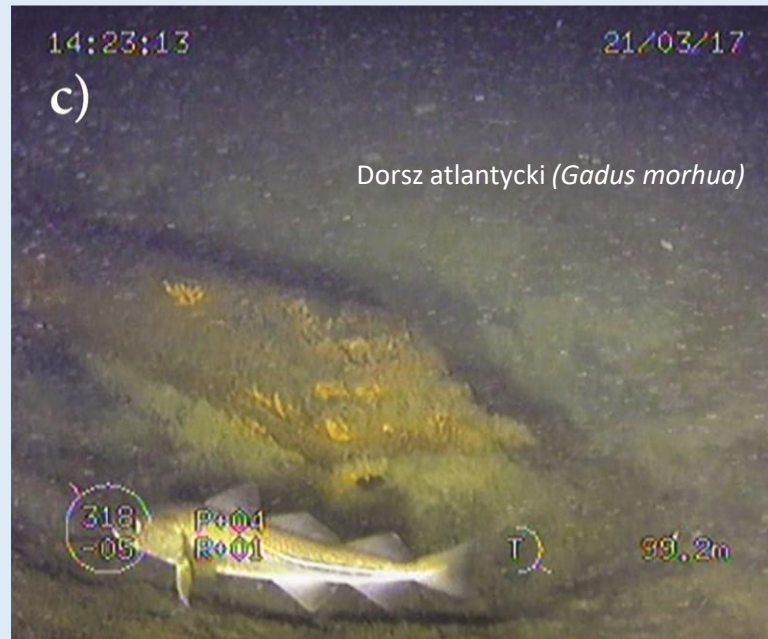
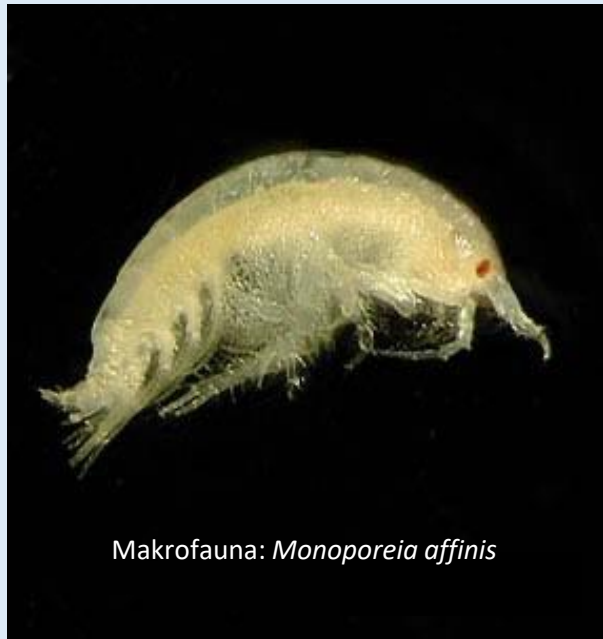
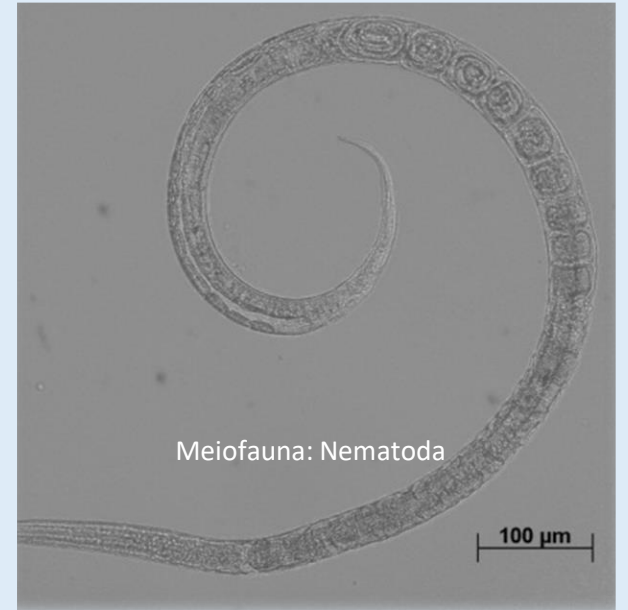
niskie liczebności Nematoda



całkowity brak
makrofauny

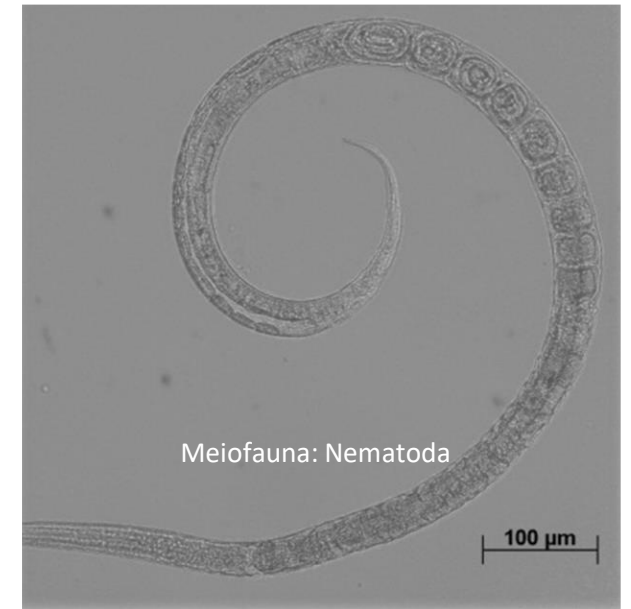


Efekty Wlewu z Morza Północnego na obszarach zatapiania broni chemicznej

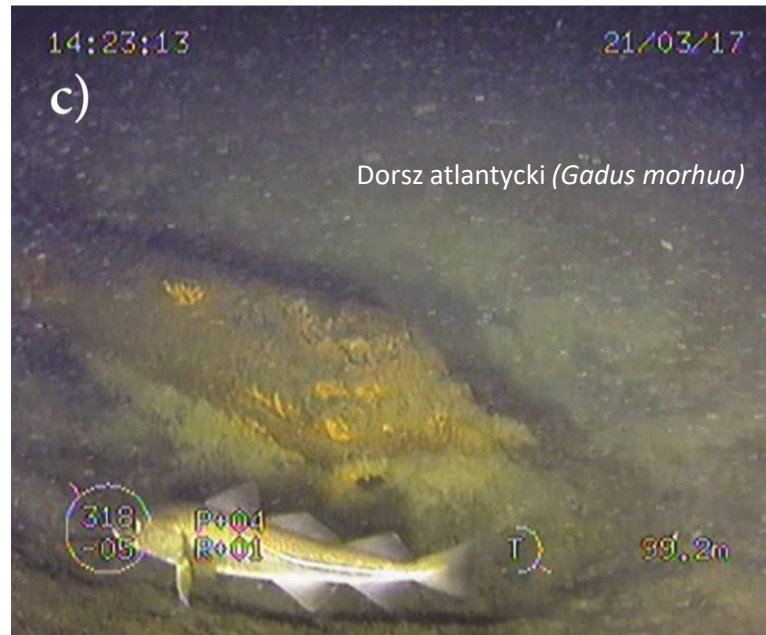


Stan biocenozy na obszarach zatapiania broni chemicznej po Wlewie

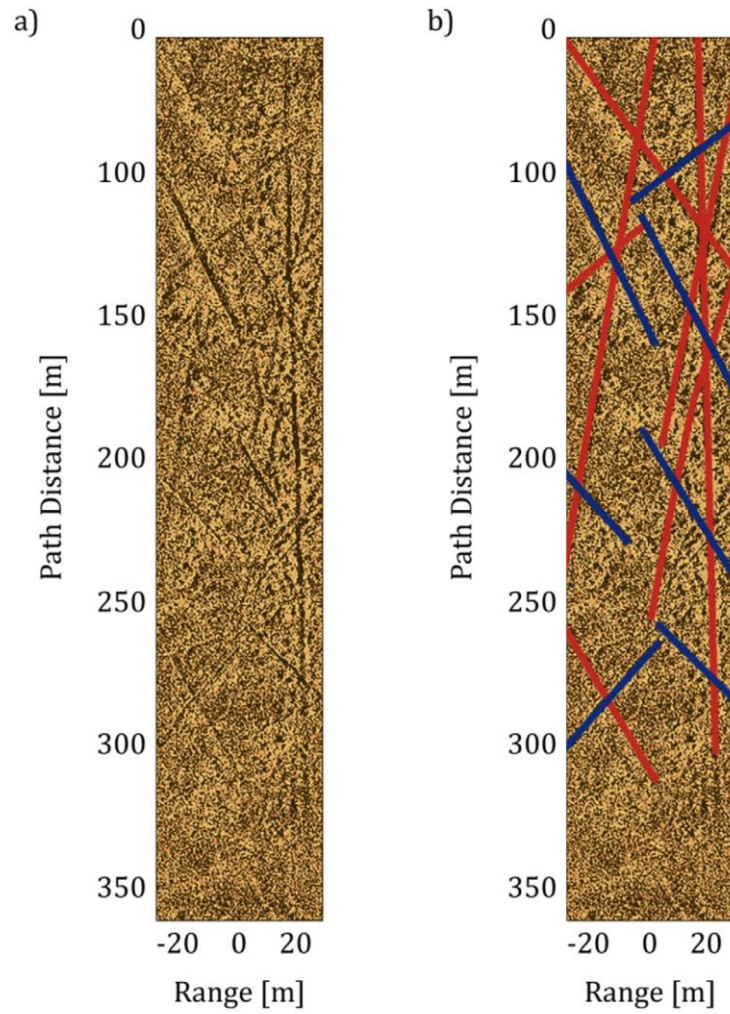
niska bioróżnorodność
Meiofauny
duże liczebności Nematoda



całkowity brak
makrofauny



STARSZE I NOWSZE ślady trałowania



STAN WIEDZY:

Składowiska broni chemicznej w Morzu Bałtyckim są zasiedlone przez faunę.

Detekcja BST oraz produktów ich degradacji w osadach i wodach porowych (Vanninen et al. 2020).

Nowe, nieznane produkty degradacji BST (Niemikoski et al. 2020).

Czy związki te są toksyczne dla organizmów wodnych?





ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Marine Environmental Research

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/marenvrev>



Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to *Daphnia magna*

Michał Czub^{a,*}, Jakub Nawąła^b, Stanisław Popiel^b, Daniel Dziedzic^b, Tomasz Brzeziński^c, Piotr Maszczyk^c, Hans Sanderson^d, Jacek Fabisiak^e, Jacek Bełdowski^a, Lech Kotwicki^a

^a Institute of Oceanology, Polish Academy of Sciences, ul. Powstańców Warszawy 55, 81-712, Sopot, Poland

^b Military University of Technology in Warsaw, Warsaw, Poland

^c Department of Hydrobiology, Faculty of Biology, University of Warsaw, Warsaw, Poland

^d Aarhus University, Department of Environmental Science, Roskilde, Denmark

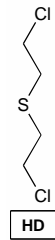
^e Polish Naval Academy, Gdynia, Poland

IPERYT SIARKOWY

”król gazów bojowych”

Przyczyna poparzeń rybaków

słabo rozpuszcza się w wodzie



IPERYT SIARKOWY

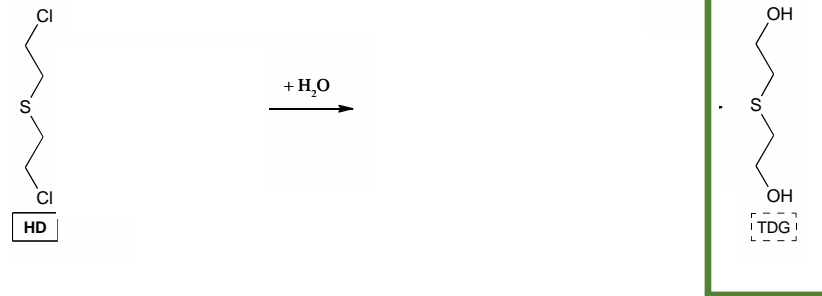
”król gazów bojowych”

Przyczyna poparzeń rybaków

Wpływ na środowisko – negowany

słabo rozpuszcza się w wodzie

szybko hydrolizuje ($t_{1/2} = 15'$)



Tiodiglikol

produkt prostej hydrolizy

bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie

NIETOKSYCZNY – nie ma problemu!

IPERYT SIARKOWY

”król gazów bojowych”

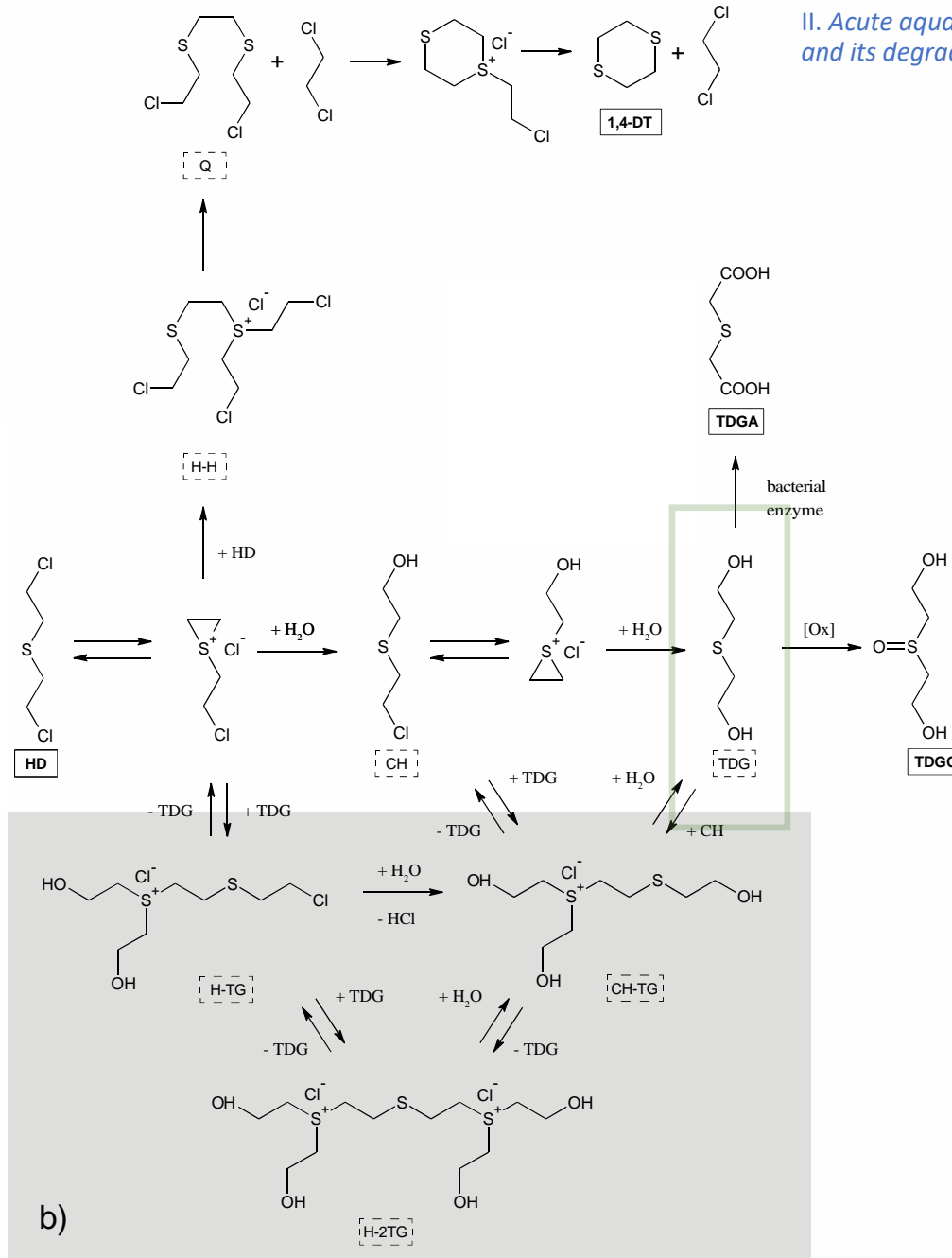
Przyczyna poparzeń rybaków

Wpływ na środowisko – negowany

slabo rozpuszcza się w wodzie
szybko hydrolizuje (1/2 = 15')

ulega polimeryzacji
utlenianiu
transformacji przez bakterie

a)



II. Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to *Daphnia magna* - Czub et al. 2020

Tiodiglikol

produkt prostej hydrolizy

bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie

NIETOKSYCZNY – nie ma problemu!

b)

IPERYT SIARKOWY

”król gazów bojowych”

Przyczyna poparzeń rybaków

Wpływ na środowisko – negowany

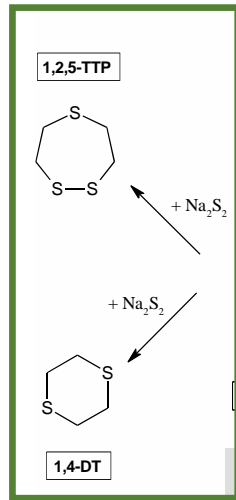
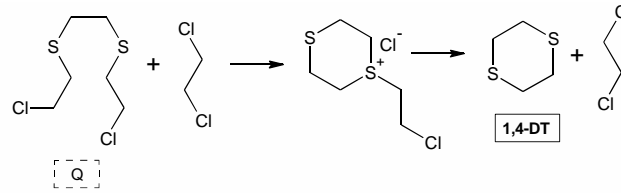
słabo rozpuszcza się w wodzie
szybko hydrolizuje (1/2 = 15')

ulega polimeryzacji
utlenianiu

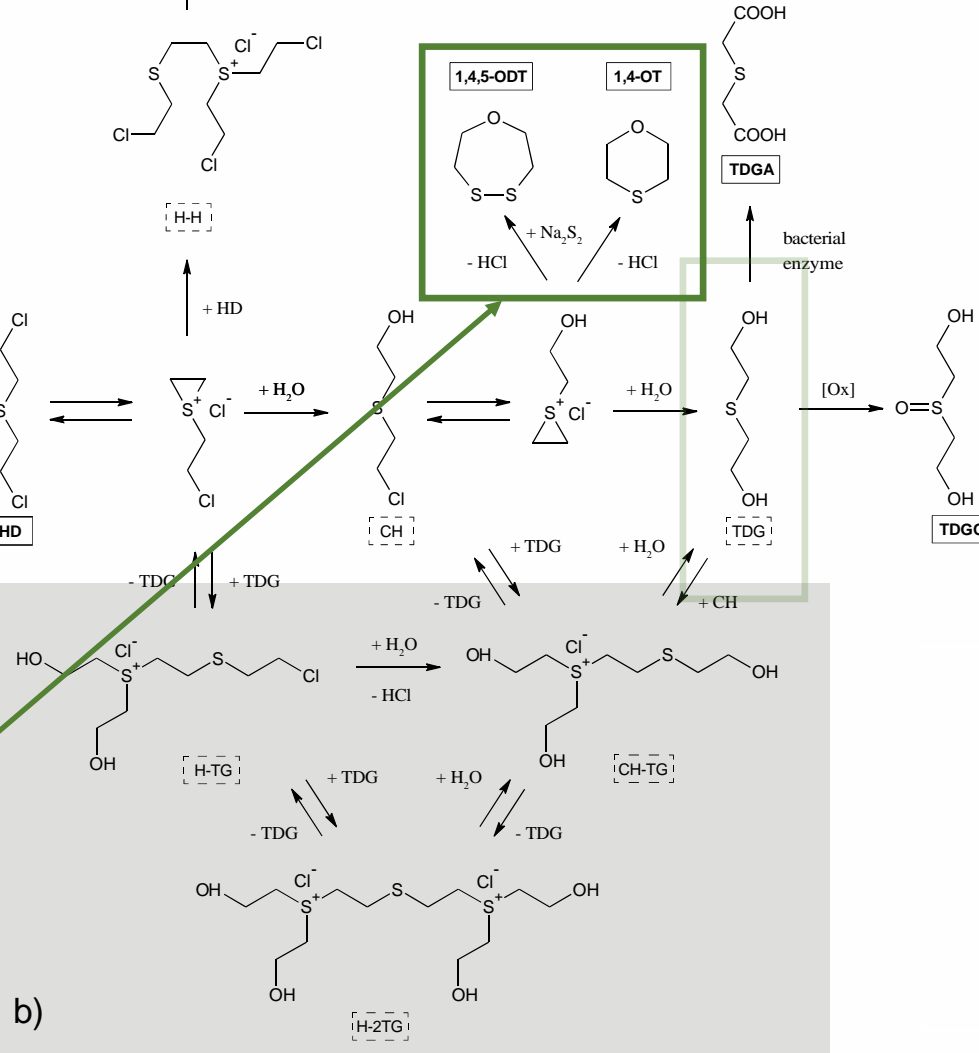
transformacji przez bakterie
transformacjom w osadzie

II. Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to *Daphnia magna* - Czub et al. 2020

a)



1,2,5 – tritiepan
1,4,5 – oksaditiepian
powstają w obecności wielosiarczków
np. w osadach dennych



b)

Tiodiglikol
produkt prostej hydrolizy
bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie
NIETOKSYCZNY – nie ma problemu!

Progi toksyczności ostrej - kategoryzacja zagrożenia

Laboratoria:
Uniwersytet Warszawski
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

modelowy organizm:
Daphnia magna (DMB)

standardowa metoda:
Test OECD – Org. ds. Współpracy Gospodarczej
201 – *Daphnia sp.* immobilization test

oczekiwane wyniki:

EC₅₀ | LC₅₀ | LOEC | NOEC



Daphnia magna
źródło: <http://www.wikipedia.org>



PROGI TOKSYCZNOŚCI OSTREJ 48h *D. magna* EC₅₀

	Bardzo toksyczny EC ₅₀ < 1 mg/L	Toksyczny 1 mg/L < EC ₅₀ < 10 mg/L	Potencjalnie szkodliwy 10 mg/L < EC ₅₀ < 100 mg/L	Nietoksyczny EC ₅₀ > 100 mg/L
BST				
Produkt degradacji				tiodiglikol

PROGI TOKSYCZNOŚCI OSTREJ 48h *D. magna* EC₅₀

	Bardzo toksyczny EC ₅₀ < 1 mg/L	Toksyczny 1 mg/L < EC ₅₀ < 10 mg/L	Potencjalnie szkodliwy 10 mg/L < EC ₅₀ < 100 mg/L	Nietoksyczny EC ₅₀ > 100 mg/L
BST				
Produkt degradacji				tiodiglikol sulfotlenek tiodiglikolu kwas tiodiglikolowy 1,4 – ditian 1,4 – oksatian

PROGI TOKSYCZNOŚCI OSTREJ 48h *D. magna* EC₅₀

	Bardzo toksyczny EC ₅₀ < 1 mg/L	Toksyczny 1 mg/L < EC ₅₀ < 10 mg/L	Potencjalnie szkodliwy 10 mg/L < EC ₅₀ < 100 mg/L	Nietoksyczny EC ₅₀ > 100 mg/L
BST		iperyt siarkowy		
Produkt degradacji				tiodiglikol sulfotlenek tiodiglikolu kwas tiodiglikolowy 1,4 – ditian 1,4 – oksatian

PROGI TOKSYCZNOŚCI OSTREJ 48h *D. magna* EC₅₀

	Bardzo toksyczny EC ₅₀ < 1 mg/L	Toksyczny 1 mg/L < EC ₅₀ < 10 mg/L	Potencjalnie szkodliwy 10 mg/L < EC ₅₀ < 100 mg/L	Nietoksyczny EC ₅₀ > 100 mg/L
BST		iperyt siarkowy		
Produkt degradacji	1,2,5 – tritiepan	1,4,5 – oksaditiepan		tiodiglikol sulfotlenek tiodiglikolu kwas tiodiglikolowy 1,4 – ditian 1,4 – oksatian

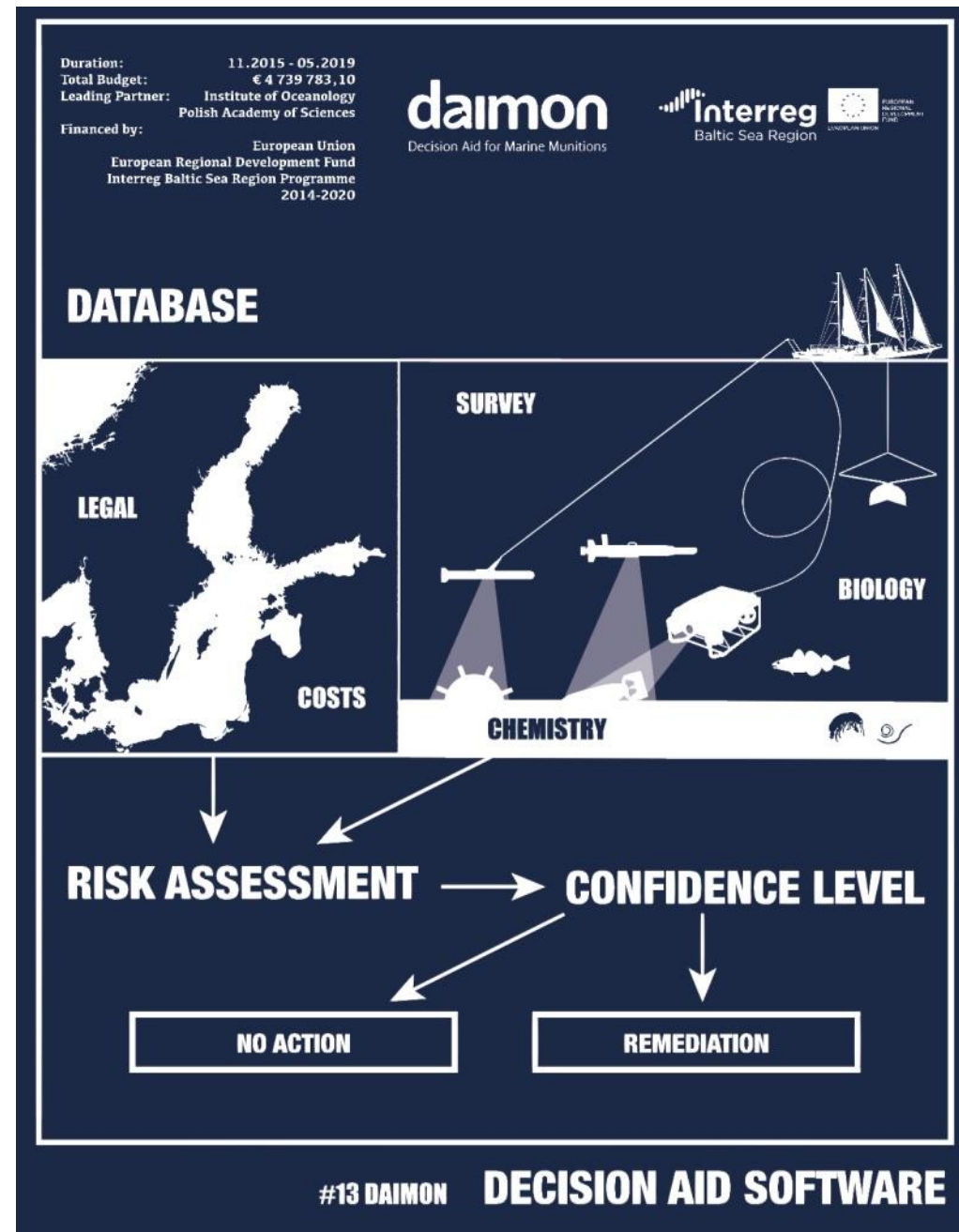
PROGI TOKSYCZNOŚCI OSTREJ 48h *D. magna* EC₅₀

	Bardzo toksyczny EC ₅₀ < 1 mg/L	Toksyczny 1 mg/L < EC ₅₀ < 10 mg/L	Potencjalnie szkodliwy 10 mg/L < EC ₅₀ < 100 mg/L	Nietoksyczny EC ₅₀ > 100 mg/L
BST		iperyt siarkowy		
Produkt degradacji	1,2,5 – tritiepan	1,4,5 – oksaditiepan		tiodiglikol sulfotlenek tiodiglikolu kwas tiodiglikolowy 1,4 – ditian 1,4 – oksatian
WARTOŚCI NIŻSZE OD WYKRYWANYCH W OSADACH Z OBSZARÓW ZATAPIANIA				

DAIMON2
ECO TOX Toolbox
Procedures & Approach



www.daimonproject.com



User: hyron@iopan.pl

Organisation: Institute of Oceanology of Polish Academy of Science

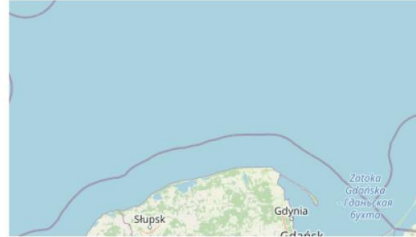
2021-10-15 13:46
17.7231164, 55.1379220

The results shown here are suggestions made from datasets that are used for training purposes. Due to the BETA stage of the application, they currently can not be used as an official basis for decision-making. These suggestions are not released for use in real life situation.

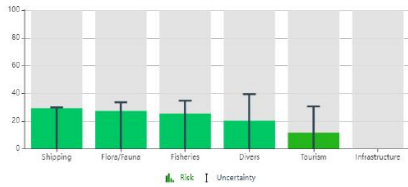
OVERVIEW

Coordinates 17.7231164, 55.1379220
Date, Time 2021-10-15 13:46

Description
Test Object 1_Słupsk Furrow

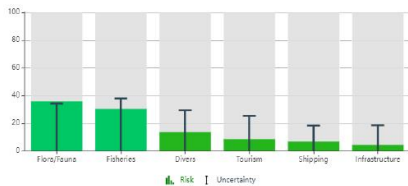


TOP 5 RISKS - EXPLOSION



Protection Goods	Risk	Training-Datasets	Uncertainty
Shipping	29 %	62	30 %
Flora/-Fauna	27 %	42	33 %
Fisheries	25 %	74	35 %
Divers	20 %	14	39 %
Tourism	11 %	6	31 %
Infrastructure	unavailable	30	

TOP 5 RISKS - CORROSION



Protection Goods	Risk	Training-Datasets	Uncertainty
Flora/-Fauna	35 %	39	34 %
Fisheries	30 %	89	38 %
Divers	13 %	34	29 %
Tourism	8 %	75	25 %
Shipping	6 %	33	18 %
Infrastructure	4 %	96	19 %

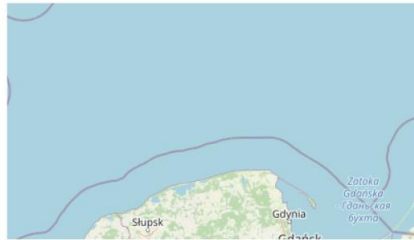
User: hyron@iopan.pl Organisation: Institute of Oceanology of Polish Academy of Science 2021-10-15 13:46
 17.7231164, 55.1379220

The results shown here are suggestions made from datasets that are used for training purposes. Due to the BETA stage of the application, they currently can not be used as an official basis for decision-making. These suggestions are not released for use in real life situation.

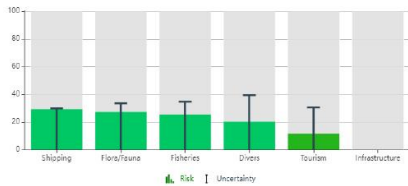
OVERVIEW

Coordinates **Date, Time**
 17.7231164, 55.1379220 2021-10-15 13:46

Description
 Test Object 1_Stupsk Furrow

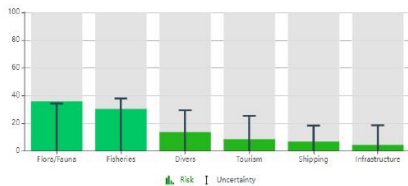


TOP 5 RISKS - EXPLOSION



Protection Goods	Risk	Training-Datasets	Uncertainty
Shipping	29 %	62	30 %
Flora/-Fauna	27 %	42	33 %
Fisheries	25 %	74	35 %
Divers	20 %	14	39 %
Tourism	11 %	6	31 %
Infrastructure	unavailable	30	

TOP 5 RISKS - CORROSION



Protection Goods	Risk	Training-Datasets	Uncertainty
Flora/-Fauna	35 %	39	34 %
Fisheries	30 %	89	38 %
Divers	13 %	34	29 %
Tourism	8 %	75	25 %
Shipping	6 %	33	18 %
Infrastructure	4 %	96	19 %



User: hyron@iopan.pl Organisation: Institute of Oceanology of Polish Academy of Science 2021-10-15 13:46
 17.7231164, 55.1379220

SOP & ROP

34. IDENTIFICATION AND VISUAL INSPECTION OF DETECTED MUNITIONS-LIKE OBJECTS
 This procedure provides validation of data collected according to DAIMON Toolbox Fact Sheet 1.1: Munition detection procedure with a hydroacoustic and magnetometry equipment (Grabowski 2019). Identification and visual inspection of selected objects are conducted based on a video camera and hydroacoustic equipment mounted on a ROV platform.

02. SEDIMENT SAMPLING WITH ROV (ROP)
 Sediment samples are needed for various studies from different kinds of sea areas, and the sampling methods are also varying accordingly. This SOP describes the precise sediment sampling with an ROV attached sampler for the analysis of explosives, chemical warfare agents (CWAs) and their degradation products. This procedure allows collecting sediment samples directly next to detected objects and at selected distances to them.

33. CHEMICAL ANALYSIS OF SEA-DUMPED EXPLOSIVES IN SEDIMENT (ROP) LOSIVES AND DEGRADATION PRODUCTS ANALYSIS IN SEDIMENT SAMPLES
 To be added soon

PDF-versions of the SOP's & ROP's are available in the result screen in the DAIMON-DSS. A full list of all SOP/ROP's is available on the daimon project website via:
<https://www.daimonproject.com/standard--recommended-operation-procedures.html>

Recommended Operating Procedure (ROP)

Aim of ROP (tick box)

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Munition detection or identification | <input type="checkbox"/> Toxicity |
| <input checked="" type="checkbox"/> Sampling | <input type="checkbox"/> In situ exposure studies |
| <input type="checkbox"/> Chemical analysis | <input type="checkbox"/> Bioassays |
| <input type="checkbox"/> Bioindicators/biomarkers | |

2. Sediment sampling with ROV

version 1.0

Milosz Grabowski¹, Anu Lastumäki² and Hanna Niemikoski³

¹Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences (IO PAS)
Powstancow Warszawy 55, 81-712 Sopot, Poland
email: grabowski@iopan.pl

²Finnish Environment Institute (SYKE)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, Finland
email: anu.lastumaki@ymparisto.fi

³Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention (VERIFIN)
University of Helsinki, P.O. Box 55, FIN-00014 University of Helsinki, FINLAND

Scope

Sediment samples are needed for various studies from different kinds of sea areas, and the sampling methods are also varying accordingly. This ROP describes the precise sediment sampling with an ROV attached sampler for the analysis of explosives, chemical warfare agents (CWAs) and their degradation products. This procedure allows collecting sediment samples directly next to detected objects and at selected distances to them.

Summary of the method/ROP

The samples are to be taken with a special sediment sampler attached to the remotely operated vehicle (ROV). This action aims to have surface sediment samples, collected precisely in the selected point(s) placed near to the detected objects. This technique allows performing transect sampling to determine the concentration of CWAs in sediments as the distance relative to the source increases. Collected samples will be mixed due to sampler characteristics and movements of the ROV platform. After sampling, the sediment is to be placed in plastic containers, marked and stored in a freezer (at least -20 °C) until further analysis in the laboratory. Persons responsible for the transfer of samples from sampler to the storage containers must be experienced enough to ensure the quality of the samples. Also, the ROV pilot must avoid contact of the vehicle with a detected object(s).

Safety aspects

For sampling, normal research vessel safety rules should be applied. If sampling is directly next to detected munition objects, special restrictions on operating within the area will apply. The ROV platform (especially sampling containers) should be prescreened with a CWA detector (e.g. FID based) prior to the opening of the sampler containers. The person doing the prescreening should wear special safety equipment, including protective clothes, long-stemmed gloves (preferably made out of butyl rubber), rubber boots, and full-face breathing masks equipped with CWA-suitable filters (fig. 1 and 2). If prescreening is not available or CWAs were detected on the ROV, all the persons who will take part in sampling operation or otherwise have to be present on the deck during handling of the sediment should wear similar safety equipment.



Fig. 3. Personnel must be handled as if they contained high amounts of toxic CWAs. The sampling procedure must be rinsed with water and decontaminant

Both of the sampling must be recorded. Since the ROV position is not known, based on acoustic navigation (i.e. USBL) should be used. The transfers sediments from the sampler to containers, the ROV pilot, the sampling should be recorded. Each sample container should be labeled with information/code: unique number, sample name, depth, and date. The information must be recorded electronically (e.g. Excel spreadsheet) and the containers, always use a permanent marker so that the list should be sent with the samples for analyzing the ship name, area name, cruise ID, and station ID, in order to ensure fast recognition.

Temperature, salinity, oxygen, and Secchi depth at the sampling location must be measured. (No wind info needed for the ROV.)

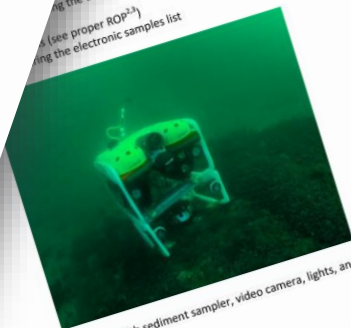


Fig. 3. Example ROV equipped with sediment sampler, video camera, lights, and the BlueView sonar

Performing the sampling operation:

1. Prepare the ROV for the underwater mission (onboard check of each crucial ROV elements: propellers, camera, lights, acoustic sonar, and sediment sampler).
2. Setup the ROV into the water.
3. Deploy the ROV into the water.
4. Reach the desired sampling area with the ROV.
5. Activate sediment sampler and collect samples.
6. Ensure that samples were collected by checking the status of the sampler if possible.
7. Resurface the ROV platform.
8. Connect the ROV to the ship winch or crane when it remains in the water.
9. Gently recover the ROV. Mind keeping the ROV outside the outline of the vessel.
10. Visually inspect (Fig. 4).
11. Use safety equipment.
12. Rise the platform with water when it remains outside the vessel outline.
13. Transfer the ROV into the outline of the vessel.
14. Check the sampler container and the whole ROV with the CWA detector.
15. Properly store storage containers with a permanent marker.

15. Slowly open the sampler container(s) and transfer sediment samples with the help of a spatula into before prepared storage containers. The amount of each sample should be about 50 – 200 g wet weight. Don't overfill the plastic container with the sediment sample, since the volume of the sample increases when frozen. This might cause the containers to break. Packing the sediment samples in plastic bags is not recommended. If plastic bags are still used, the samples should be packed in double bags in order to minimize the risk of cross-contamination. The plastic bags should not be filled more than a half of the bag's volume (fig. 5).
16. Visual inspect collected samples.
17. Perform decontamination of the ROV², ship deck², used equipment² and personnel¹.
18. Freeze storage containers with collected samples in -20°C until analysis in the laboratory.
19. Conduct hydrographic measurements with CTD/STD probe, oxygen probe, and Secchi disk.



Fig. 4. Visual inspection of the ROV outside the vessel outline after recovery from the water



Fig. 5. Plastic containers for sediment samples

Identification and visual inspection of detected munition-like objects
Following safety procedures
Safety procedures

The ROP of "Sediment sampling with gravity corer"
was changed from SOP to ROP.

Anu Lastumäki (1.0)

- Polskie instytucje pełnią wiodącą rolę w badaniach zatopionej broni chemicznej
- **Instytut Oceanologii PAN** jest od wielu lat liderem najważniejszych naukowych projektów badających to zagadnienie
- bezpośrednimi partnerami projektów są **Akademia Marynarki Wojennej** oraz **Wojskowa Akademia Techniczna**
- W ostatnich latach rolę nieformalnego partnera pełnił **Uniwersytet Warszawski**
- W kolejnych propozycjach projektach naukowych naszymi partnerami są dodatkowo:
 - m. in. **Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Jagielloński, Politechnika Gdańska**
- Od samego początku polscy naukowcy aktywnie działali w grupach eksperckich np. **HELCOM SUBMERGED, JPI Oceans, NATO SPS,**
- A także w edukację społeczeństwa oraz popularyzację tego tematu



Śmierć na dnie Bałtyku?

532 479 wyświetleń • 10 paź 2021

22 TYS. NIE PODOBA MI SIĘ UDOSTĘPNIJ ZAPISZ ...



Uwaga! Naukowy Bełkot ✓
664 tys. subskrybentów

SUBSKRYBUJ

Literatura:

- Bełdowski, J. et al. 2016. Chemical munitions search & assessment – an evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. Deep-Sea Research II 128: 85–95. doi:10.1016/j.dsr2.2015.01.017
- Brzeziński, T., **M. Czub**, J. Nawała, D. Gordon, D. Dziedzic, B. Dawidziuk, S. Popiel, P. Maszczyk. 2020. The effects of chemical warfare agent Clark I on the life histories and stable isotopes composition of *Daphnia magna*. Environmental Pollution 266 (3) <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115142>
- **Czub, M.**, J. Nawała, S. Popiel, D. Dziedzic, T. Brzeziński, P. Maszczyk, H. Sanderson, J. Fabisiak, J. Bełdowski, L. Kotwicki. 2020. Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to *Daphnia magna*. MERE. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105077>
- **Czub M.**, J. Nawała, S. Popiel, T. Brzeziński, P. Maszczyk, H. Sanderson, E. Maser, D. Gordon, D. Dziedzic, B. Dawidziuk, J. Pijanowska, J. Fabisiak, M. Szubska, T. Lang, P. Vanninen, H. Niemikoski, T. Missiaen, K.K. Lehtonen, J. Bełdowski, L. Kotwicki. 2021. Acute Aquatic toxicity of arsenic-based chemical warfare agents to *Daphnia magna*. Aquatic Toxicology <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105693>
- OECD (2004), Test No. 202: *Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264069947-en>
- OECD (2012), Test No. 211: *Daphnia magna* Reproduction Test, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264185203-en>
- Kalinowski et al. 2013. Do environmental quality standards for selected nerve agents ensure safety of the ecosystem. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 24, pp. 39-41
- Lang T., Kotwicki L., **Czub M.**, Grzelak K., Weirup L. Straumer K. 2018. The Health Status of Fish and Benthos Communities in Chemical Munitions Dumpsites in the Baltic Sea. Towards the Monitoring of Dumped Munitions Threat (MODUM). Bełdowski J., Been R., Turmus E. (eds). NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer
- Niemikoski, H., et al. 2020. Studying the metabolism of toxic chemical warfare agent-related phenylarsenic chemicals in vitro in cod liver. J Hazard Mater. 391. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122221.
- Vanninen P., Östin A, Bełdowski J., Pedersen E.A., Söderström M., Szubska M., Grabowski M., Siedlewicz G., **Czub M.**, Popiel S., Nawała J., Dziedzic D., Jakacki J., Pączek B. 2020. Exposure status of sea-dumped chemical warfare agents in the Baltic Sea. Marine Environmental Research 161 2020, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105112>

