

ARGO i automatyka pomiarów mórz Arktyki

Waldemar Walczowski, Agnieszka Beszczynska-Möller
Instytut Oceanologii PAN, Pracownia Oceanografii Obserwacyjnej, Sopot

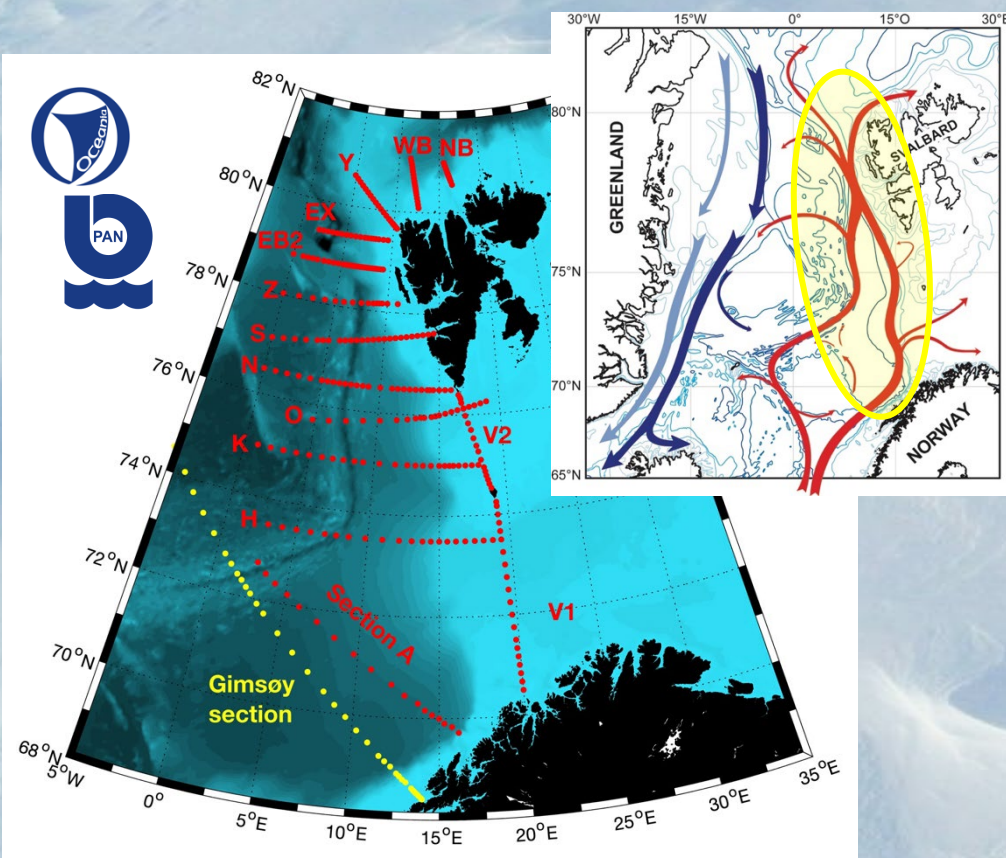


Strategiczne badania IOPAN związane z obszarem Arktyki Europejskiej:

- Rola oceanu w kształtowaniu klimatu i skutki zmian klimatu w morzach europejskich
 - Współczesne zmiany ekosystemów u brzegów mórz szelfowych
- Zmiany właściwości, dynamiki i transportu wody atlantyckiej do Oceanu Arktycznego – przyczyny, mechanizmy i konsekwencje klimatyczne oraz interakcje pomiędzy oceanem i atmosferą.
- Wzajemne oddziaływanie oceanu, atmosfery, lodowców pływowych i lodu w rejonie fiordów Svalbardu oraz wymiana wód i materii biologicznej między szelfem a fiordami.
- Zmiany ekosystemu morskiego Arktyki w wyniku zmian warunków środowiskowych ze szczególnym uwzględnieniem efektów ocieplenia klimatu.
- Charakterystyka biogeochemiczna Europejskich Mórz Arktycznych - obieg węgla, biogeochemia izotopów naturalnych i sztucznych oraz metali śladowych, transport zanieczyszczeń (np. mikroplastik).



Długoterminowy, wielkoskalowy program monitoringu Arktyki AREX 1987-2023 (w toku)

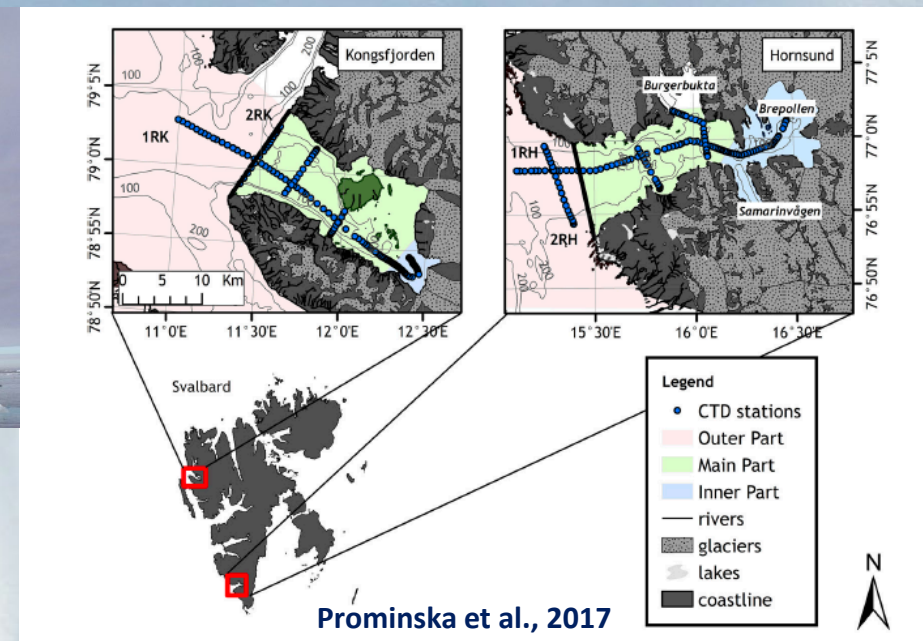
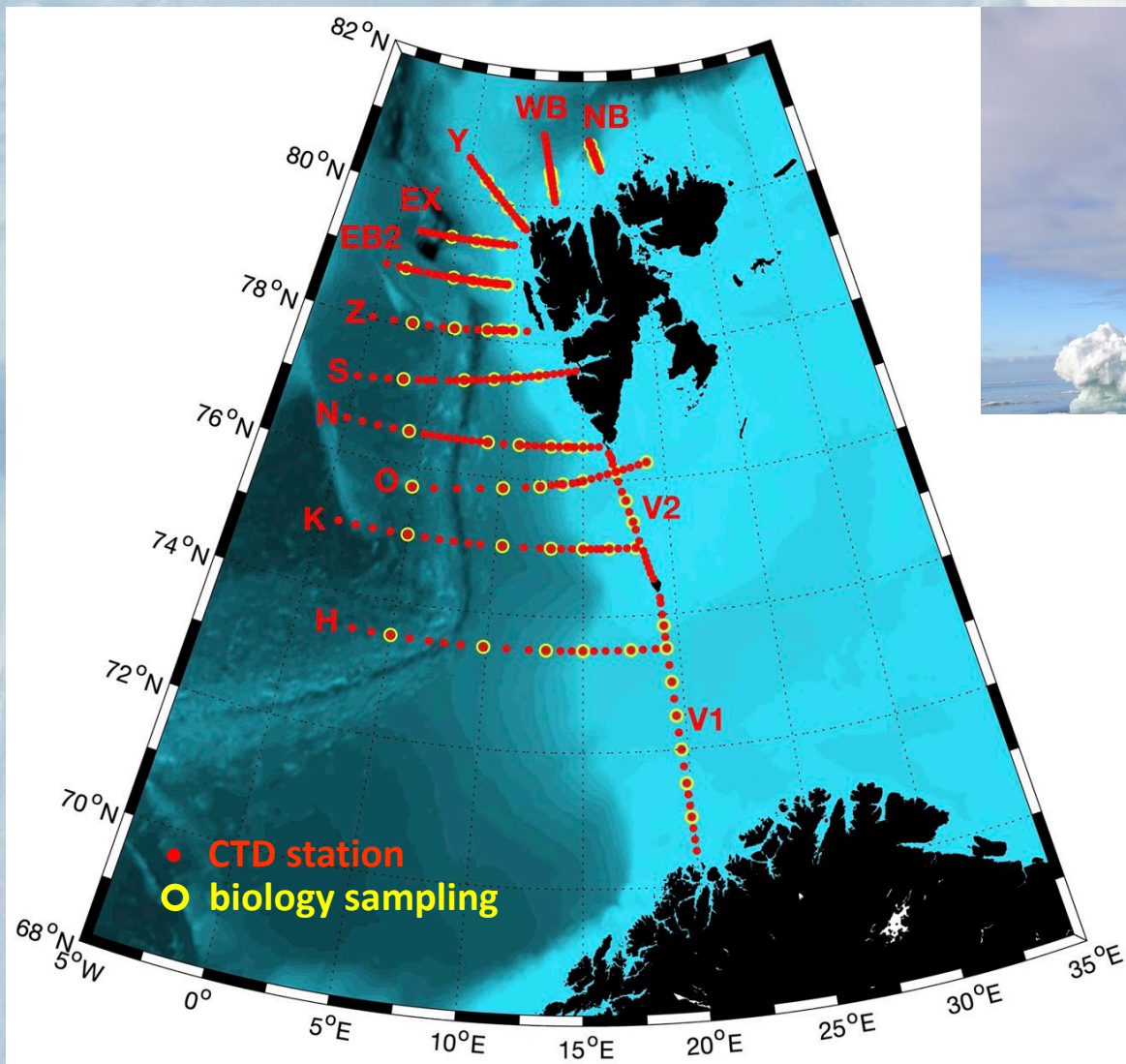


- Powtarzane corocznie każdego lata (czerwiec-wrzesień) kampanie pomiarowe **AREX Arctic Experiments** statku badawczego IOPAN RV Oceania, trwające ok. 80-90 dni
- 36 ekspedycji AREX expeditions w latach 1987-2022, rejon pomiarów pokrywający dopływ Wody Atlantyckiej do Oceanu Arktycznego (wsch. część Mórz Norweskiego i Grenlandzkiego, zach. Morze Barentsa, Cieśnina Fram, pd.-zach. Basen Nansena w Oceanie Arktycznym) oraz fiordy Zachodniego Spitsbergenu (Hornsund, Kongsfiord, Isfiord, okazjonalnie inne fiordy)
- Pomiary oceanograficzne powtarzane na regularnej siatce stacji, obejmującej 10-15 przekrojów (od 2000), niektóre przekroje od 1996 (CTD, VM-ADCP, LADCP)
- Pomiary optyczne, chemiczne i biologiczne oraz pobór prób na wybranych stacjach, ciągłe pomiary chemiczne i atmosferyczne
- Dodatkowe przekroje CTD o wysokiej rozdzielczości w górnej warstwie 300m przy pomocy skanującej sondy holowanej (typu ScanFish)
- Obszerny program wieloletnich obserwacji we fiordach (Hornsund and Kongsfiord) ukierunkowany na pomiary oceanograficzne i ekologiczne
- Wodowanie 2-3 profilujących pływaków Argo każdego roku od 2009 oraz okazjonalnie gldierów (podwodnych pojazdów autonomicznych)

* Since 2017 the Norwegian Gimsøy section (data courtesy Kjell-Arne Mørk, IMR) replaced the IOPAN section A



Długoterminowy, wielkoskalowy program monitoringu Arktyki AREX 1987-2023 (w toku)



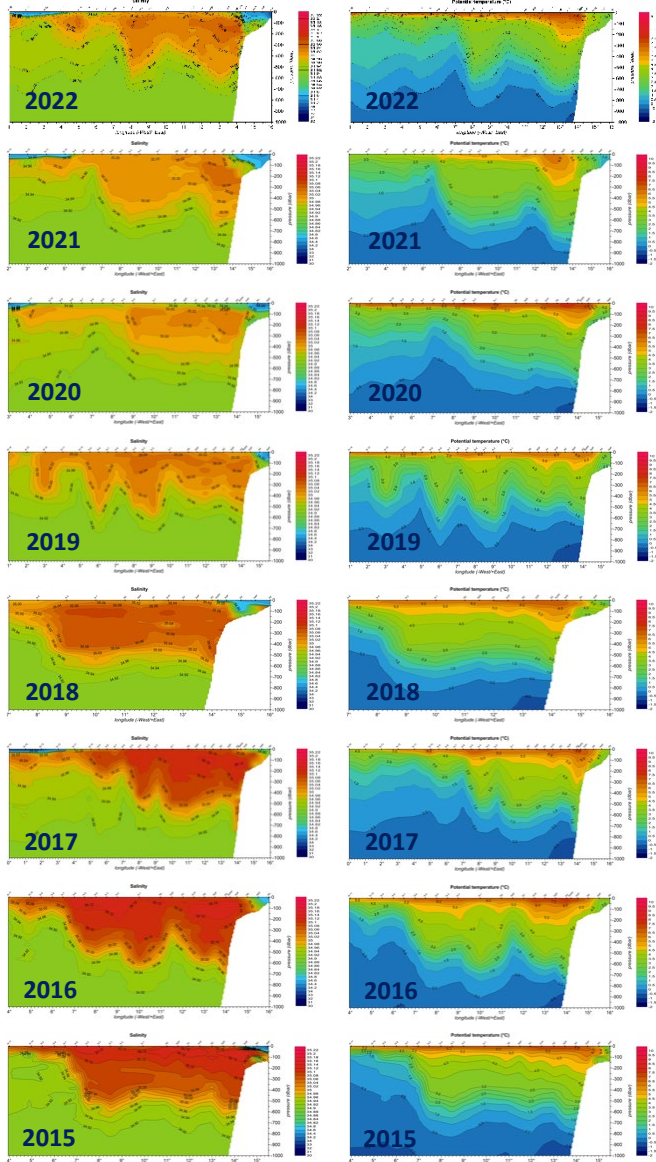
- Standardowa siatka pomiarowa od 2000 obejmuje 10-15 przekrojów (ponad 200 stacji), niektóre od 1996 (CTD, ciągłe pomiary prądów VM-ADCP i w ostatniej dekadzie pomiary prądów na stacjach przy pomocy LADCP)
- Pomiary CTD na stacjach i przekrojach sonda holowaną we fiordach Zachodniego Spitsbergenu i na szelfie
- Dodatkowo od ponad 10 lat pomiary autonomiczne: floaty Argo, mooringi, glidery

Serie czasowe właściwości fizycznych oceanu dla badań zmian klimatu

Section N @ 76.5°N

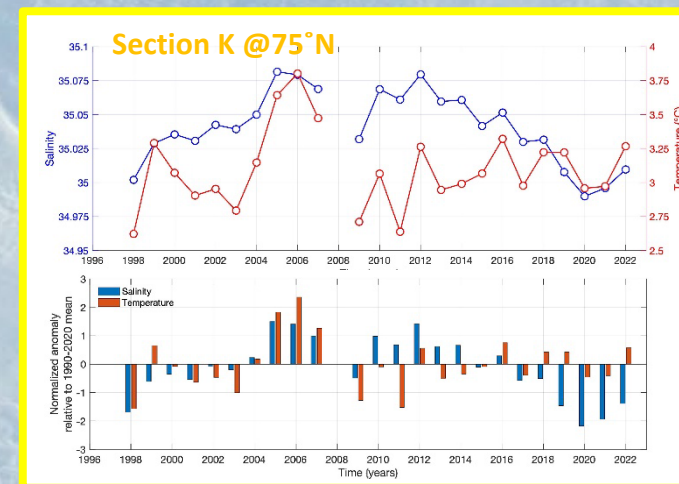
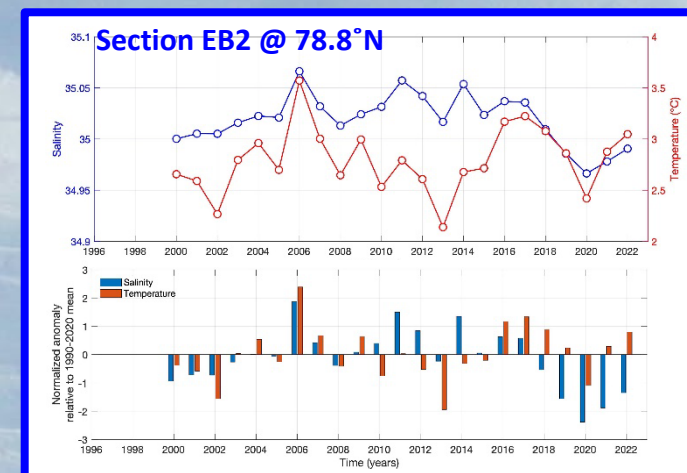
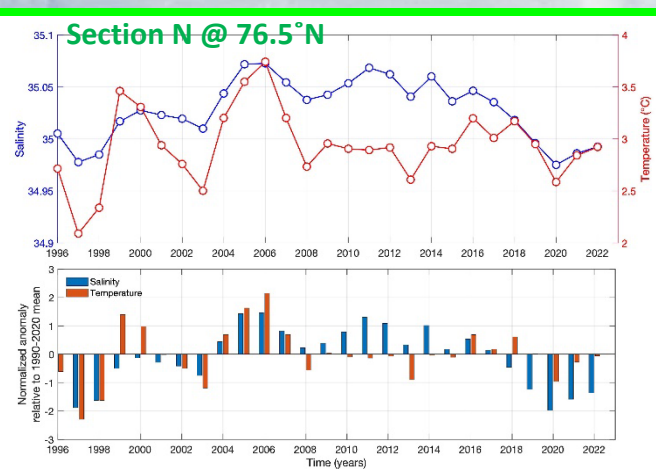
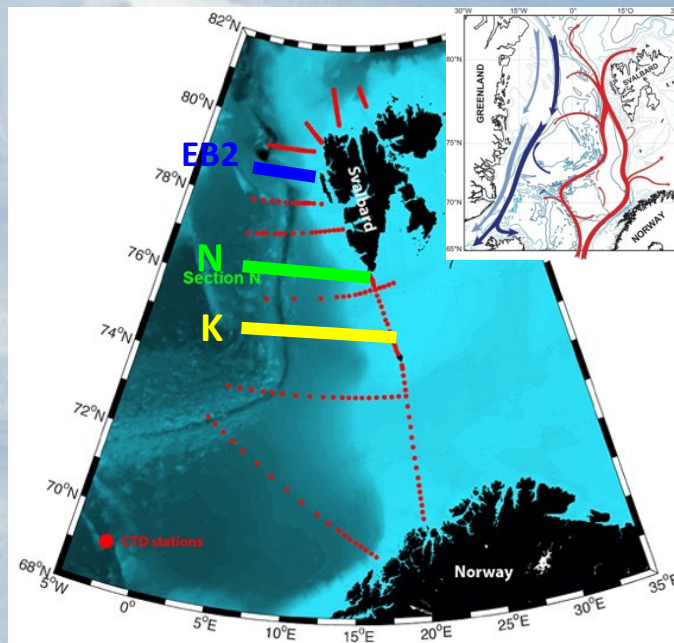
Salinity

Temperature



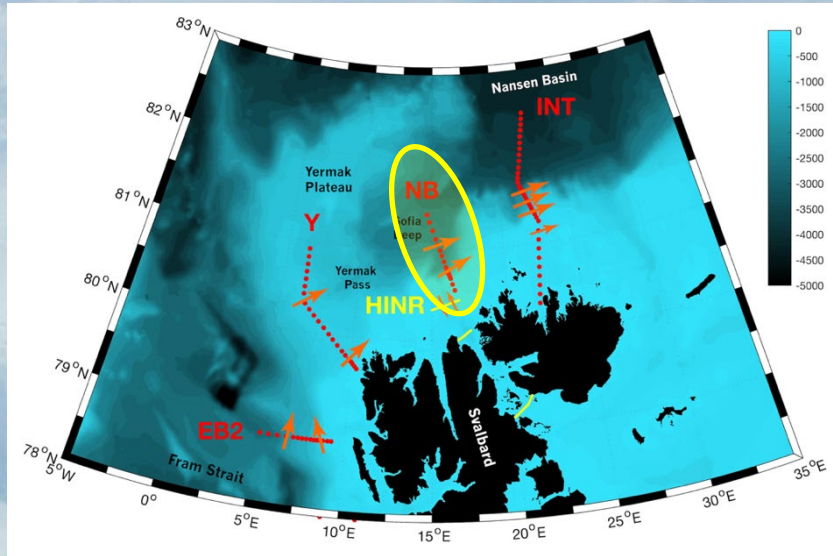
...2014, 2013, 2012... ...1996

Serie czasowe temperatury i zasolenia wody atlantyckiej na głównych przekrojach w Prądzie Zachodniospitsbergeńskim (WSC)

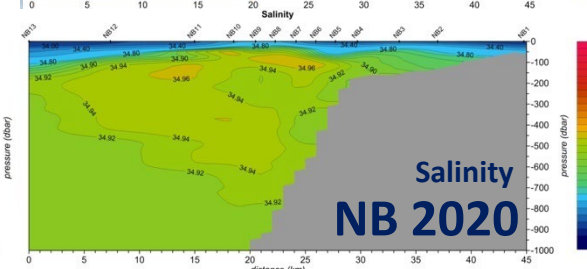
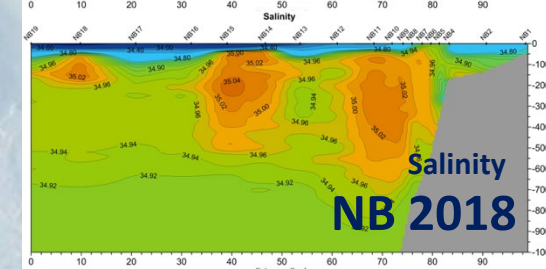
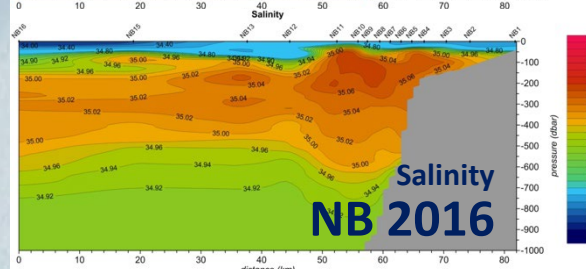
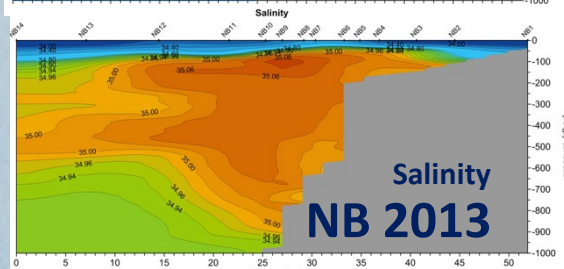
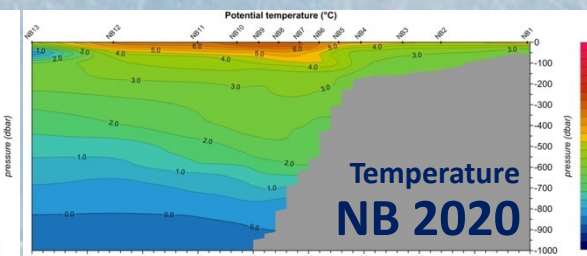
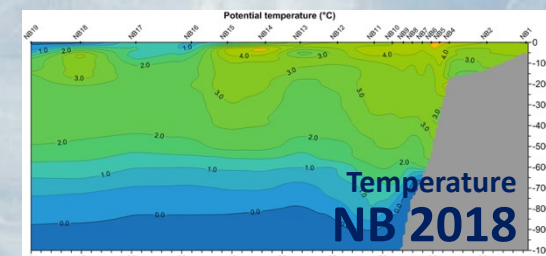
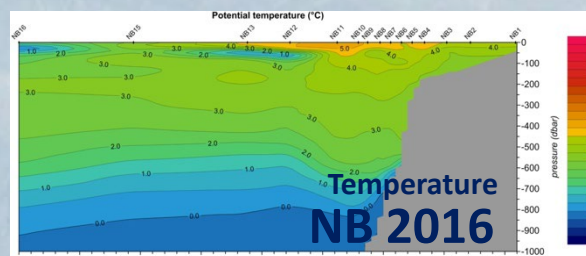
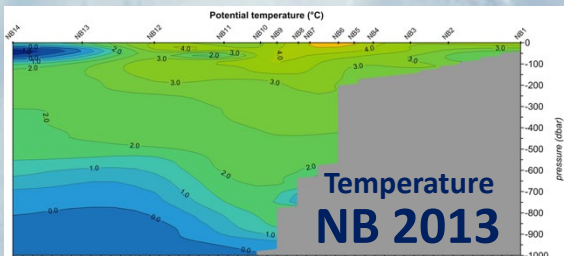
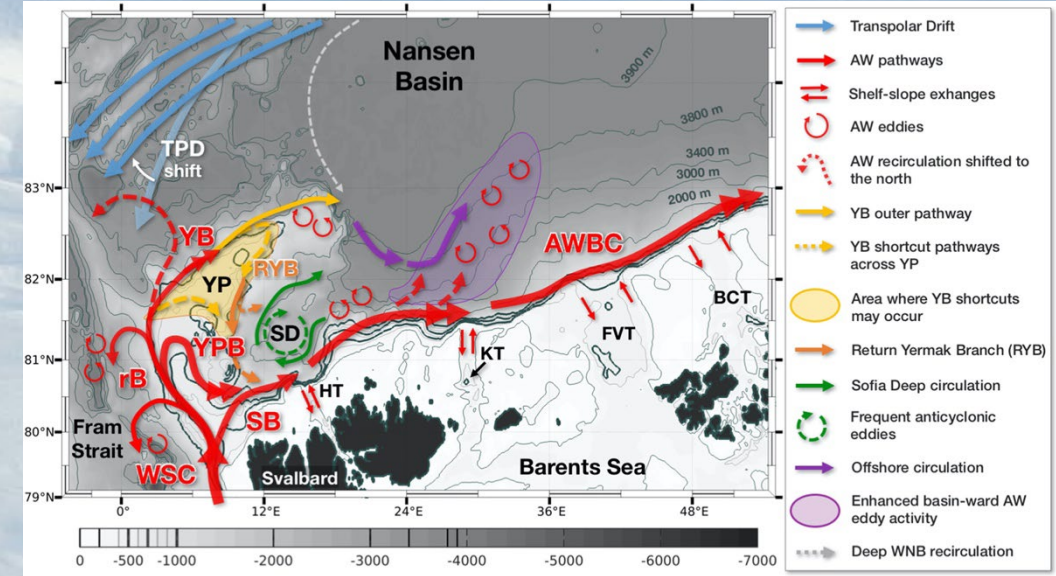


Rozszerzenie pomiarów AREX na północ od Svalbardu (zależne od lodu)

Rozkłady temperatury i zasolenia na przekroju NB na pn. od Svalbardu w sezonach letnich 2013-2020 (RV Oceania)

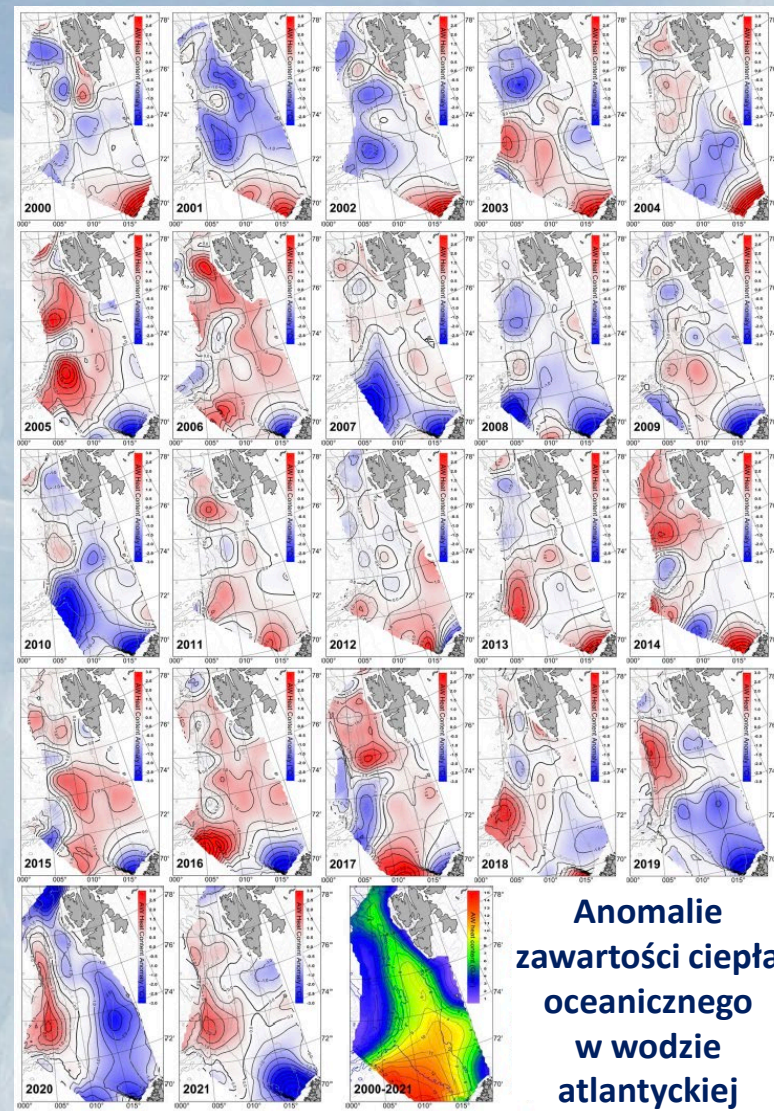
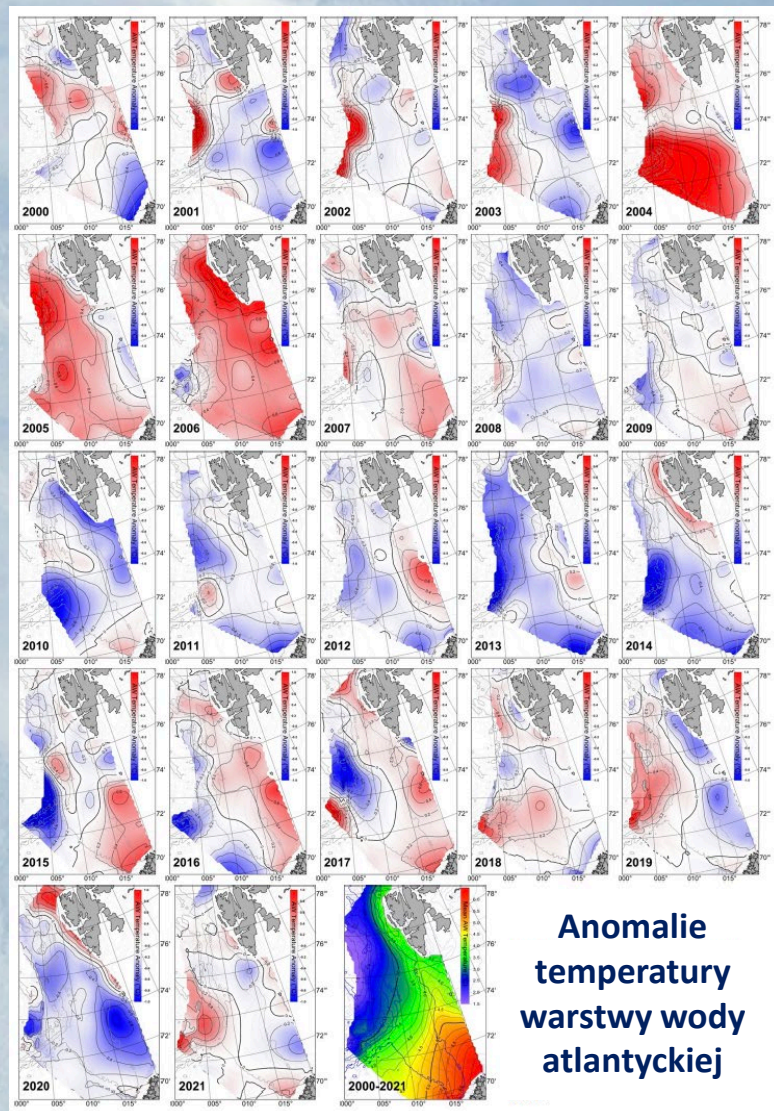
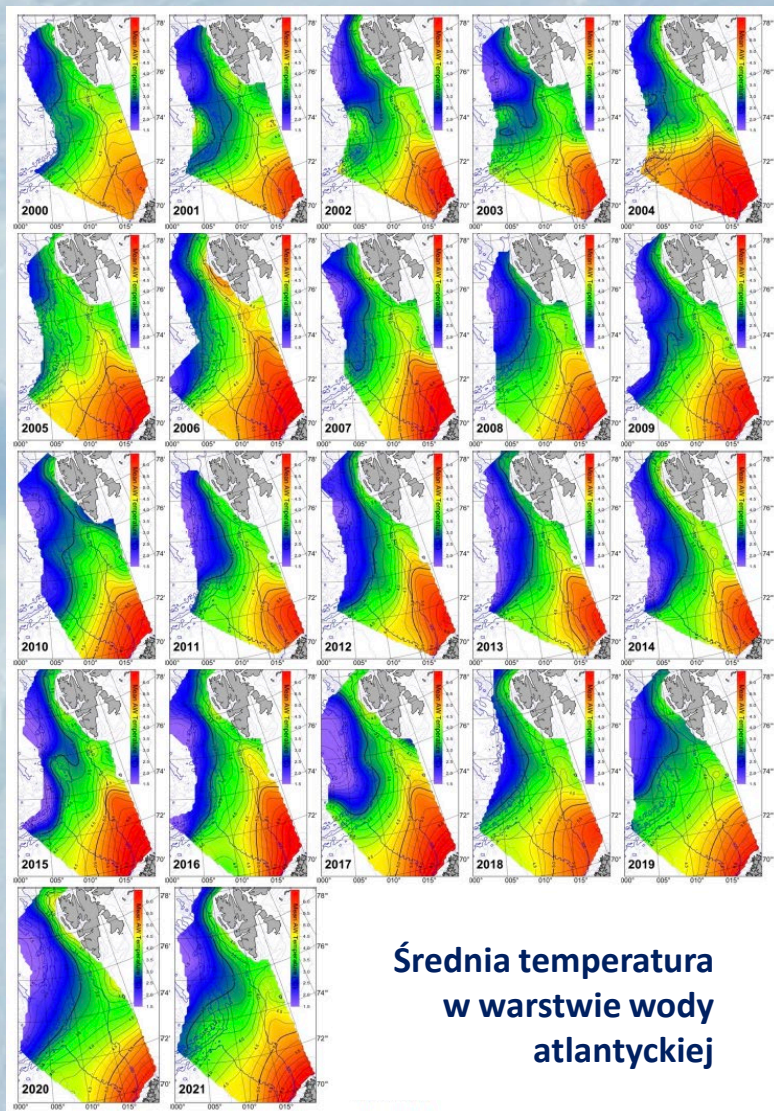


System głównych prądów oceanicznych na północ od Svalbardu w 2011–2020 w oparciu o Mercator Ocean Operational System PSY4 (Athanasé et al., JGR, 2021)



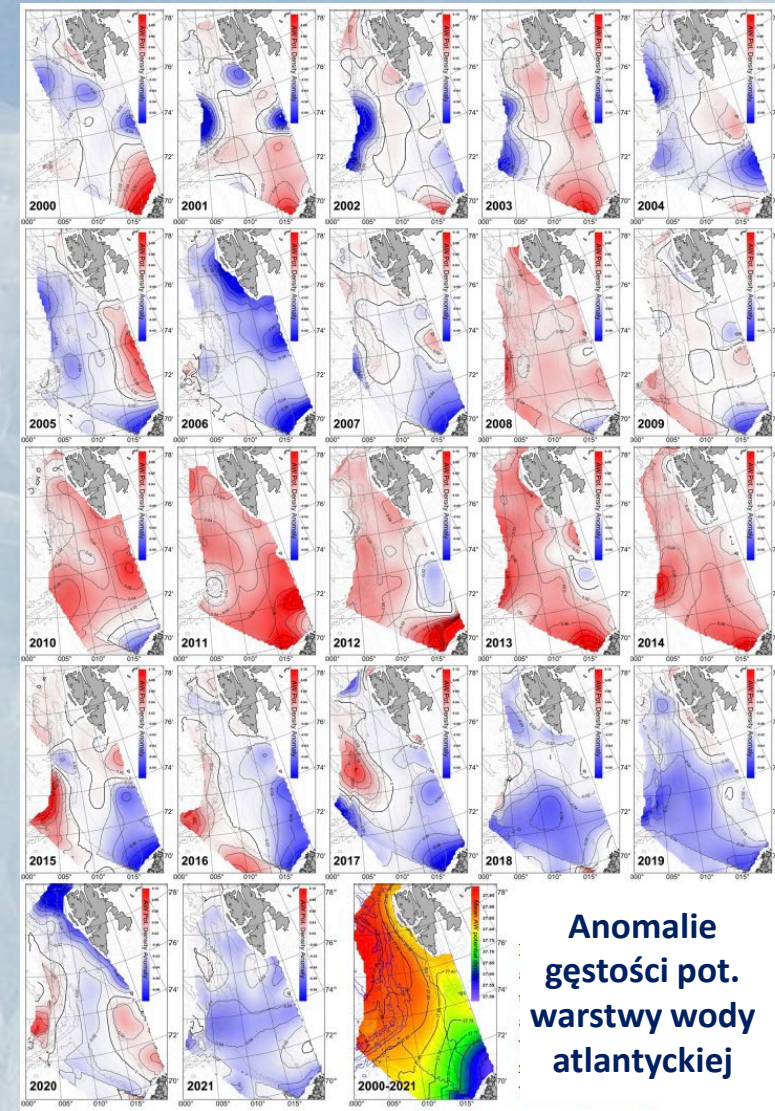
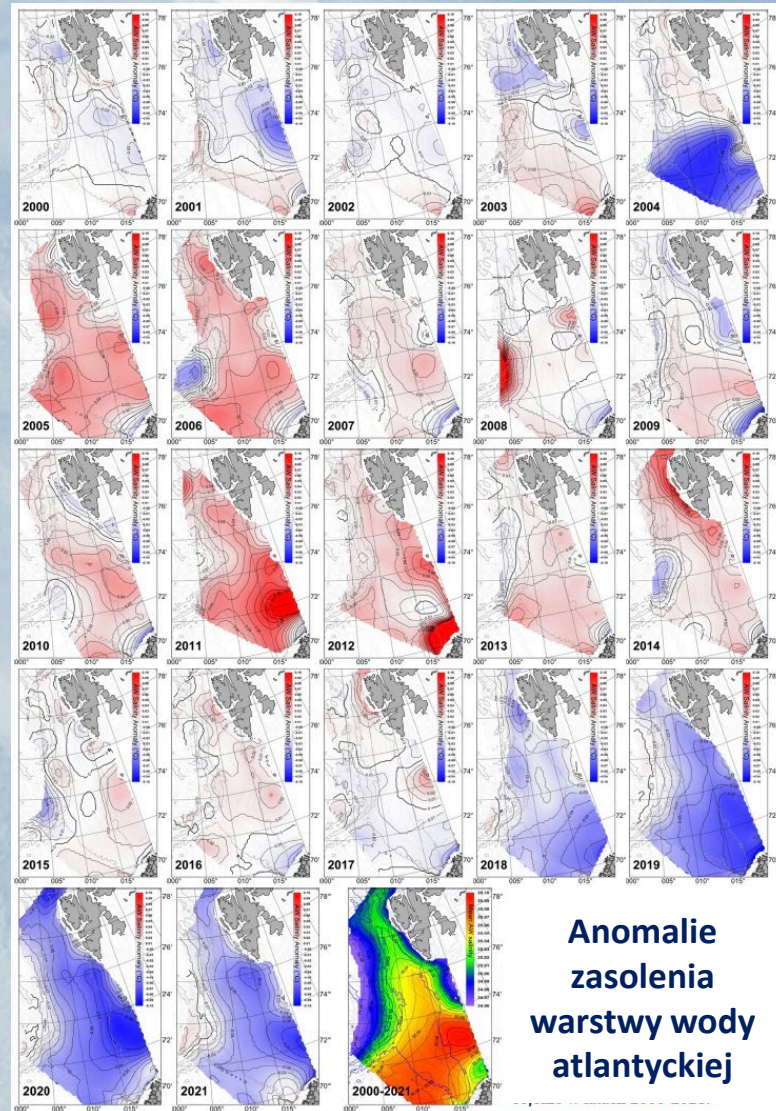
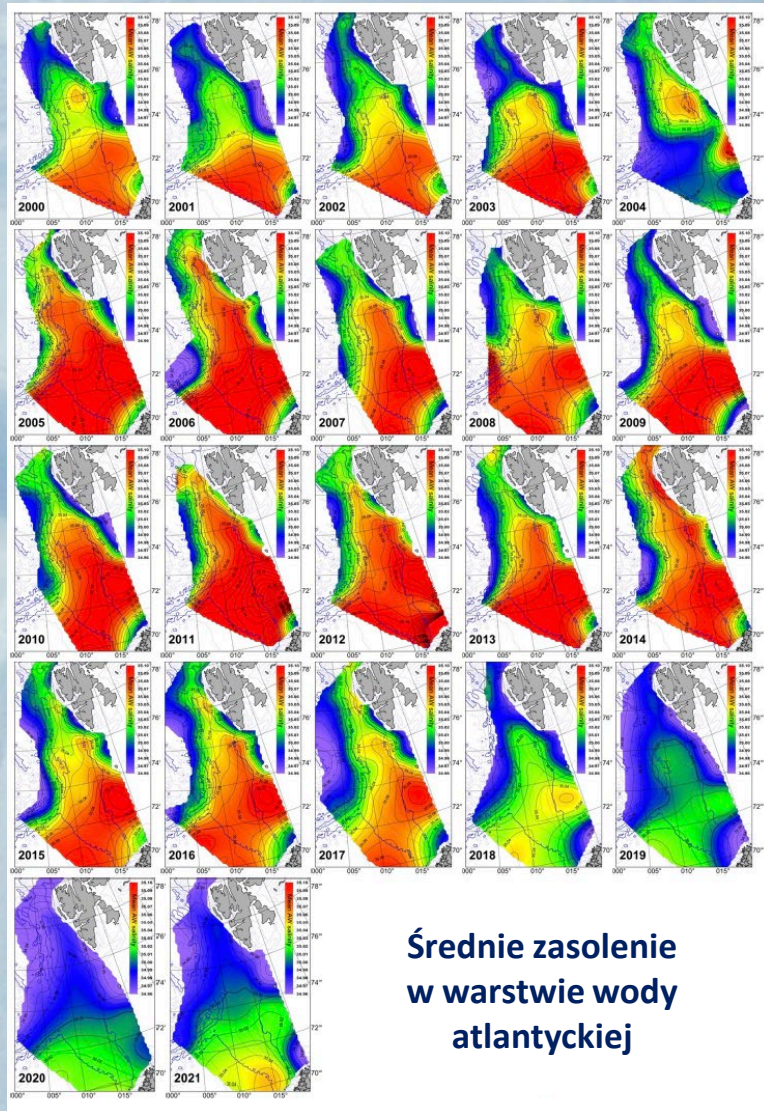
Serie czasowe właściwości fizycznych oceanu dla badań zmian klimatu

Produkty na podstawie danych pomiarowych: rozkłady 2D i 3D, statystyki, anomalie, wielkości pochodne (np. zawartość ciepła oceanicznego)



Serie czasowe właściwości fizycznych oceanu dla badań zmian klimatu

Produkty na podstawie danych pomiarowych: rozkłady 2D i 3D, statystyki, anomalie, wielkości pochodne (np. zawartość ciepła oceanicznego)

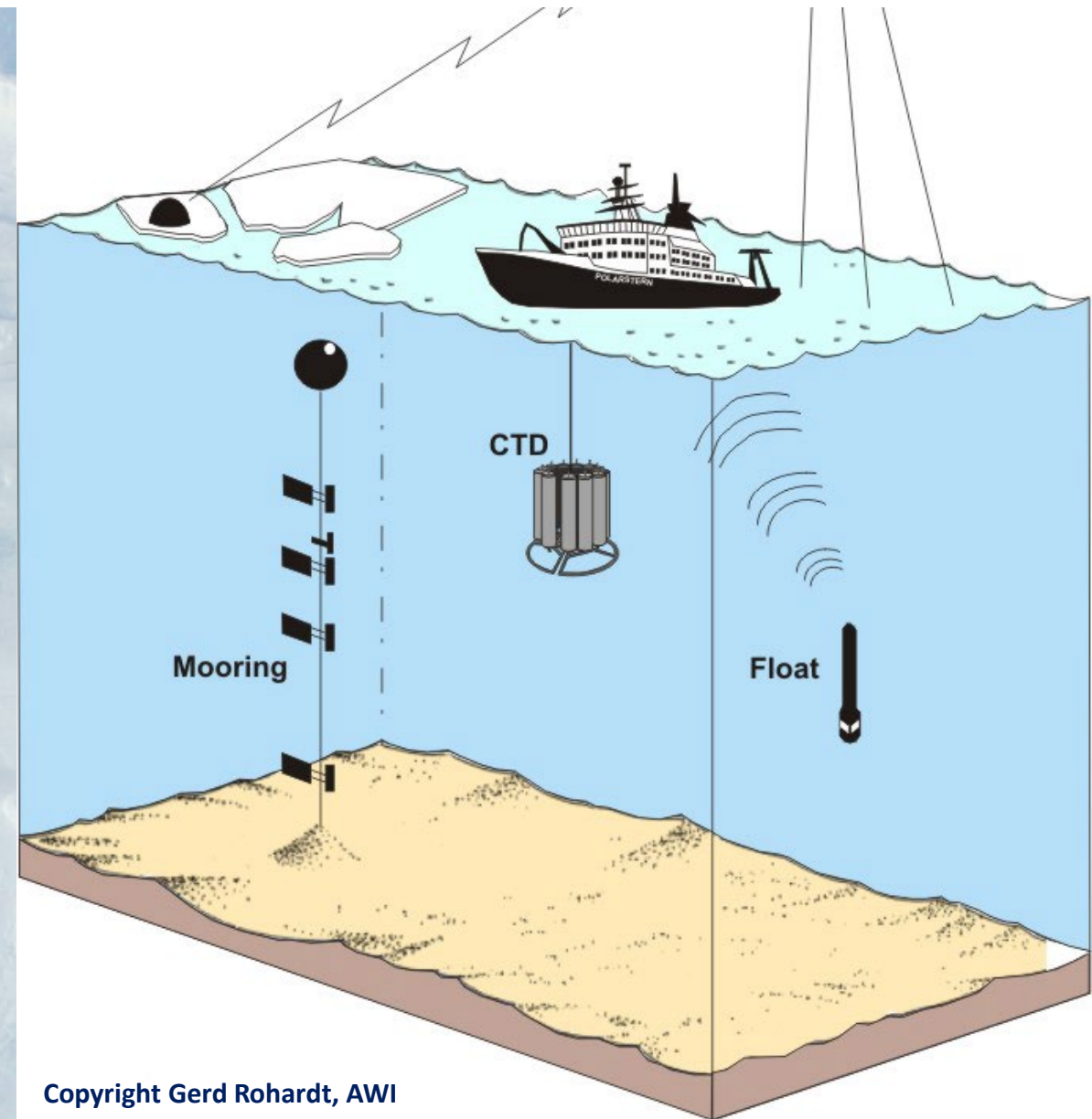


Systemy pomiarowe na morzu (in situ)

- **Pomiary ze statków badawczych**

Pomiary autonomiczne:

- **Mooringi (piony pomiarowe w kolumnie wody kotwiczone na dnie)**
- **Stacje denne**
- **Dryftery (pływaki powierzchniowe i profilujące, np. Argo)**
- **Glidery**
- **Dryfujące stacje lodowe**



Pierwszy float



Pierwszy pływak o neutralnej wyporności do śledzenia ruchów wody na stałej głębokości został opracowany przez brytyjskiego oceanografa Johna Swallowa. Składał się z aluminiowej rury z baterią i „pingera” (Swallow, 1955)

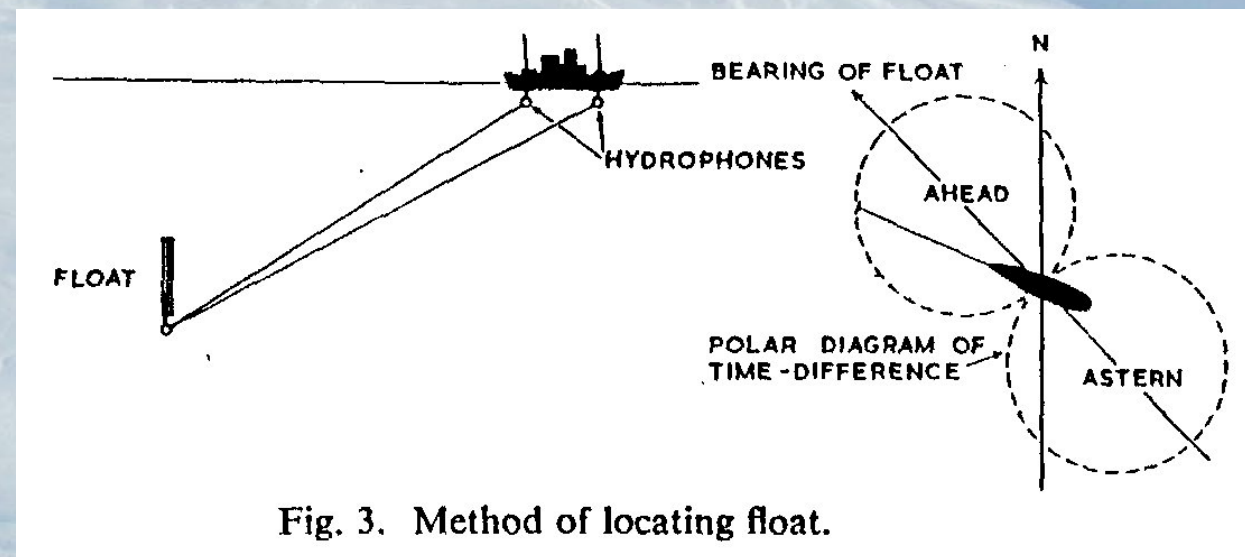


Fig. 3. Method of locating float.



Pływaki SOFAR i RAFOS



Na przełomie lat 60. i 70. XX wieku opracowano pływaki, które emitowały dźwięk o niskiej częstotliwości (500-600 Hz), który można było śledzić przez kanał SOFAR



SOFAR - SOund Fixing And Ranging
Pływaki emitujące dźwięk, odbierany przez hydrofony na statku lub mooringach

Tom Rossby i współpracownicy dokonali dalszych zmian w projektowaniu pływaków pod koniec lat 80-tych



RAFOS – SOFAR czytane "od tyłu"
Pływaki odbierające dźwięk, wysyłany przez źródła dźwięku (270 lub 780Hz) umieszczone na mooringach



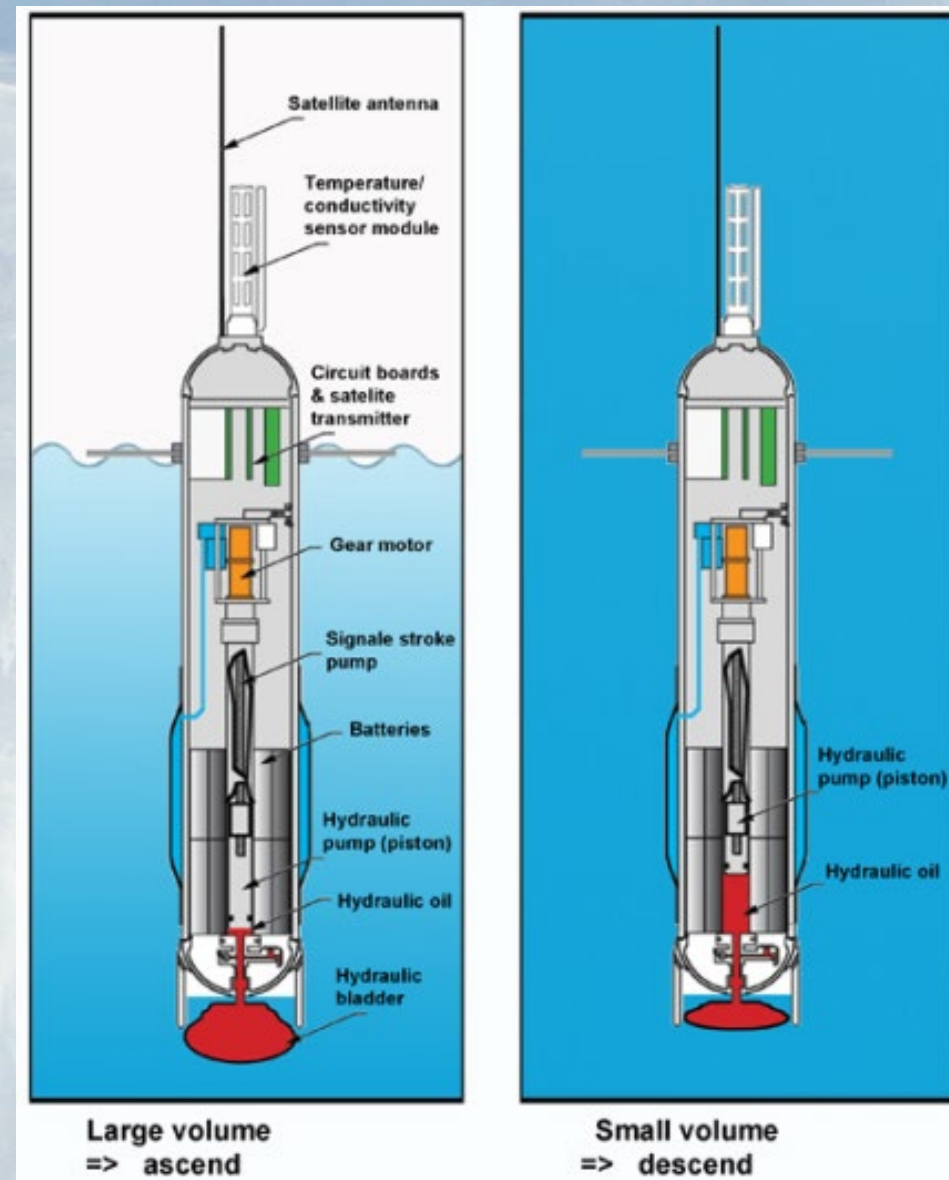
Pływak (float) ARGO



Kolejnym krokiem w rozwoju były pływaki Argo, korzystające z systemu satelitarnego ARGOS (obecnie z systemu Iridium) do komunikacji i określania pozycji.

W światowej oceanografii nastąpiły trzy rewolucje:

- Wprowadzenie altymetrii satelitarnej;
- **Sieć pływaków Argo;**
- Rozwój globalnej oceanografii obserwacyjnej, ściśle związany z poprzednimi rewolucjami.



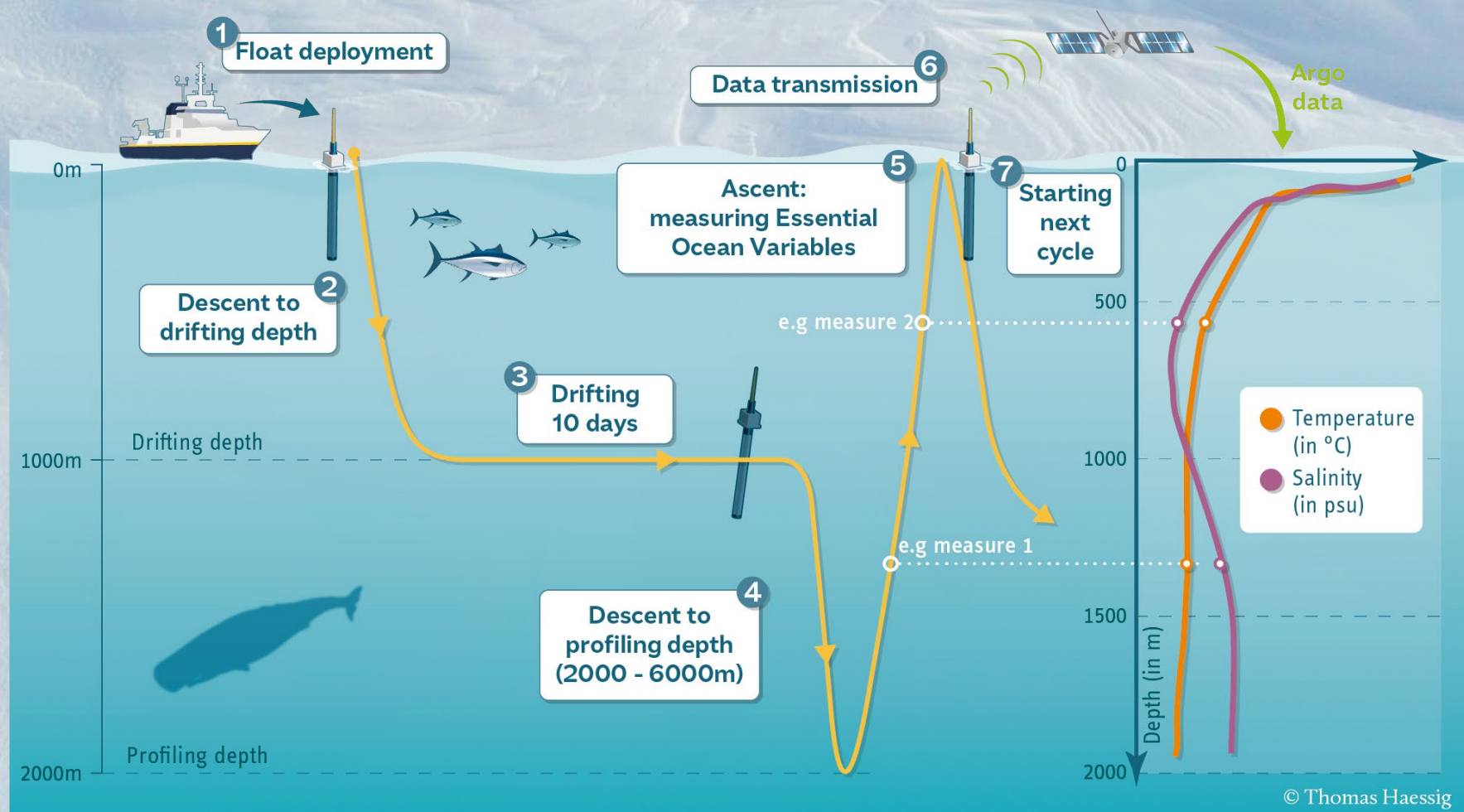
Cykl pracy głębokowodnego pływaka Argo



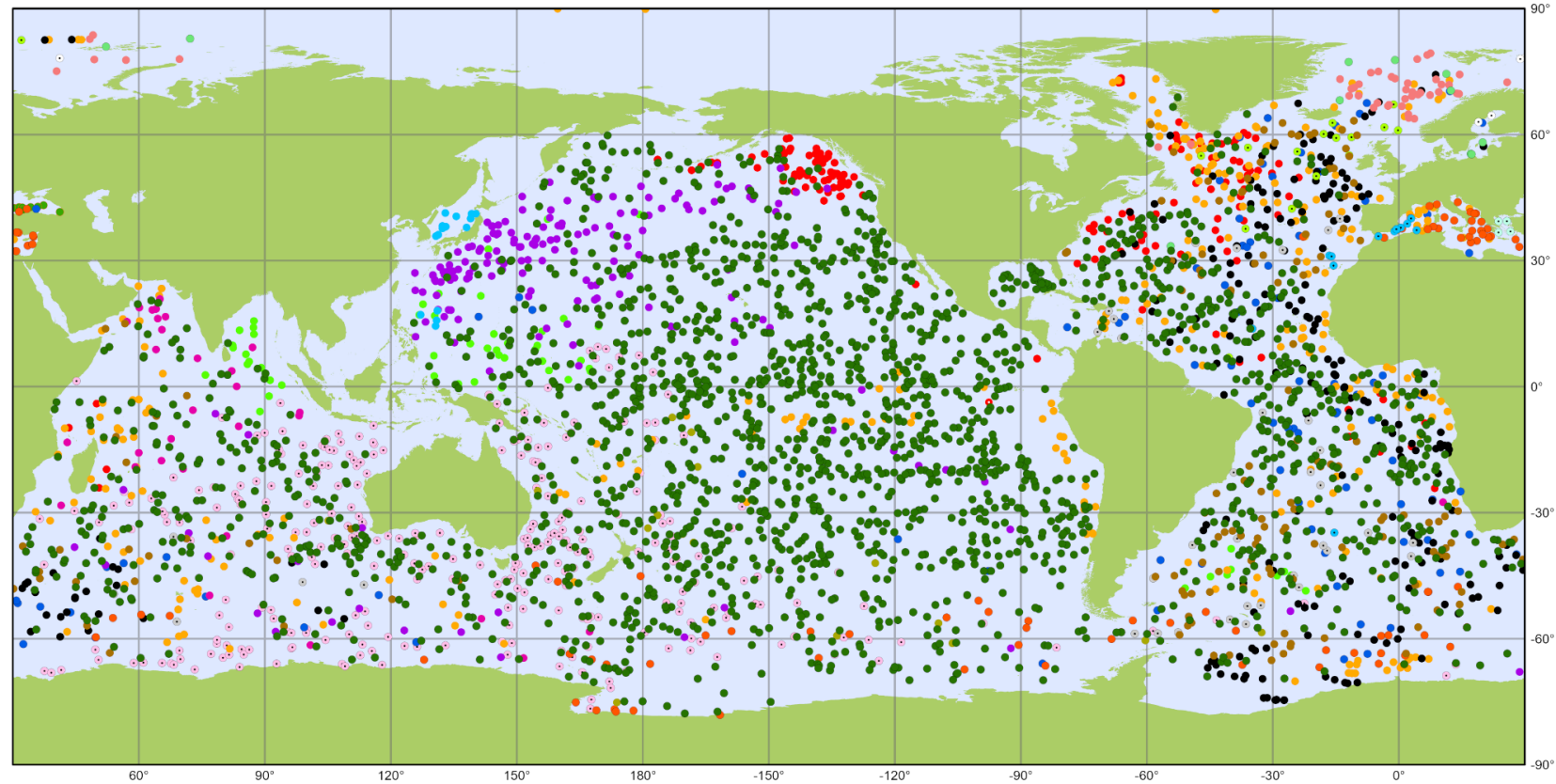
Pływaki Argo zostały zaprojektowane do pracy w głębokim oceanie i używane są w większości w akwenach morskich głębszych niż 1000 m

Typowe ustawienia oceanicznych pływaków Argo:

- głębokość dryfu (parkowania) 1000 m,
- cykl pracy 7-10 dni,
- maksymalna głębokość profilowania 2000 m,
- czas pracy 3-4 lata zakończony utratą pływaka.



Światowa sieć pływaków Argo w kwietniu 2023



Argo

National contributions - 3877 operational floats
Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)

April 2023



• AUSTRALIA (302)	• FINLAND (6)	• IRELAND (16)	• NORWAY (45)	• UK (146)
• BULGARIA (8)	• FRANCE (302)	• ITALY (90)	• PERU (1)	• USA (2131)
• CANADA (152)	• GERMANY (225)	• JAPAN (177)	• POLAND (11)	
• CHINA (56)	• GREECE (5)	• NETHERLANDS (39)	• KOREA, REPUBLIC OF (16)	
• EUROPE (89)	• INDIA (31)	• NEW ZEALAND (16)	• SPAIN (13)	

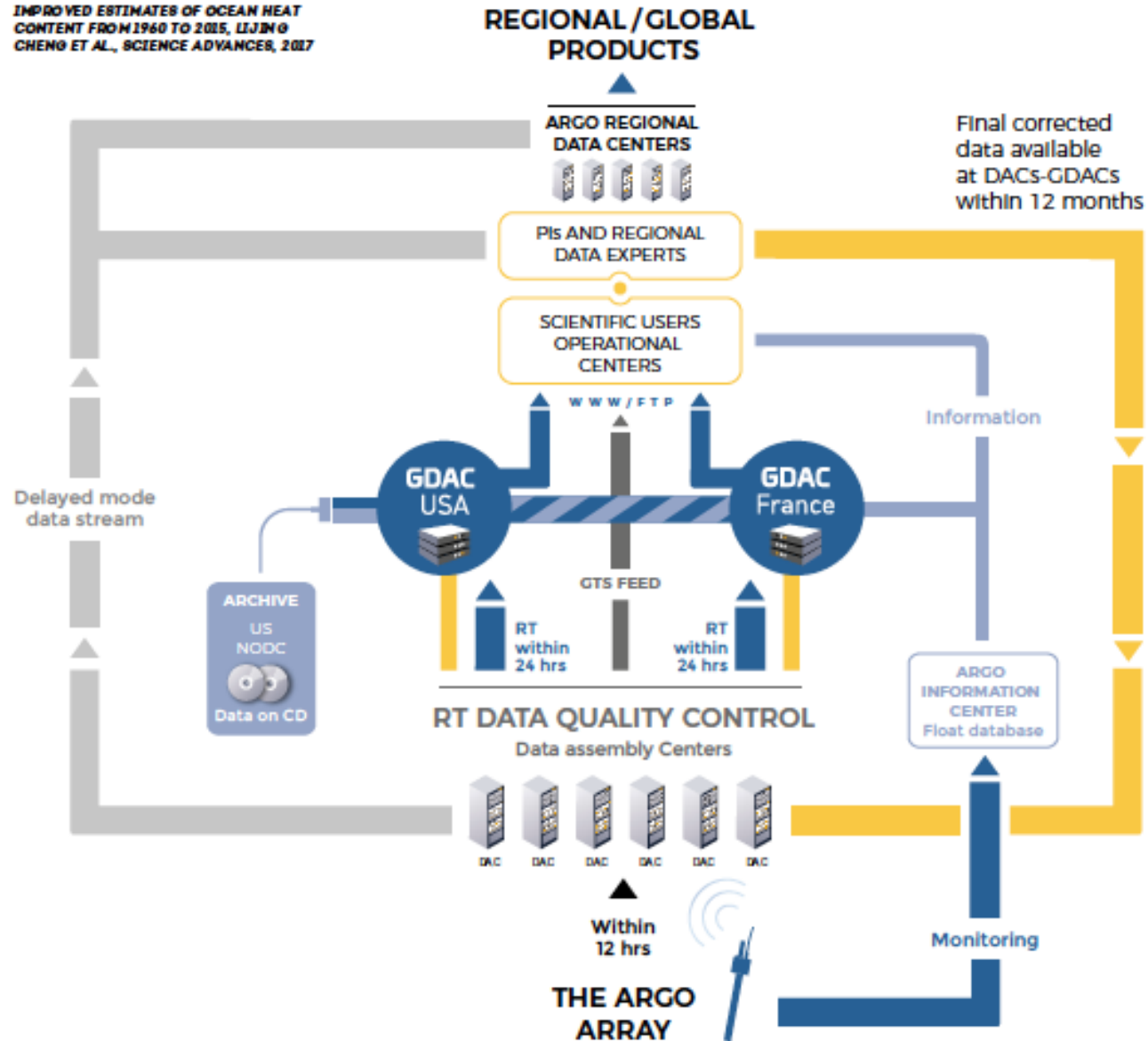


Generated by ocean-ops.org, 2023-05-01
Projection: Plate Carree (-150,0000)

Od pomiarów po globalnego produktu



REDUCING OCEAN HEAT CONTENT STUDY
ERRORS USING ARGO ERA DATA SUBSET
IMPROVED ESTIMATES OF OCEAN HEAT
CONTENT FROM 1960 TO 2015, LIJIN Q
CHENG ET AL., SCIENCE ADVANCES, 2017





Euro-Argo ERIC

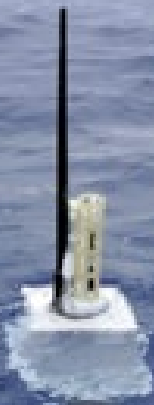
(European Research Infrastructure Consortium)



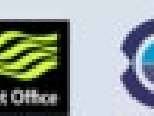
Celem statutowym Euro-Argo ERIC jest opracowanie globalnego systemu długoterminowego monitorowania oceanu, aby lepiej zrozumieć procesy zachodzące w oceanie i jego rolę w systemie klimatycznym oraz przewidywać jego aktywność i tę rolę.

Zadanie – utrzymać flotę 800 pływaków europejskich.

12 Countries
25 organisations
250 People



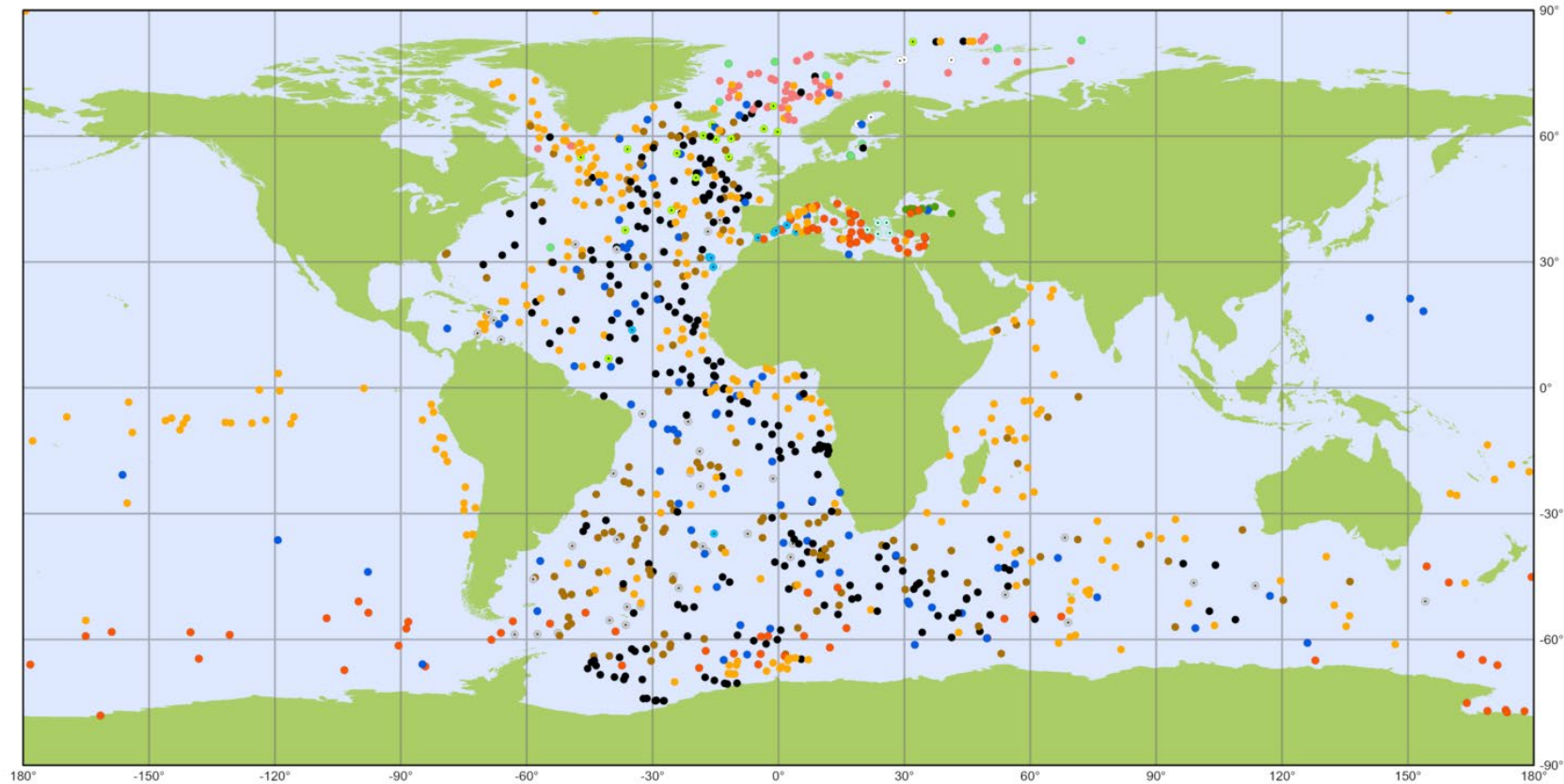
A new European Research Infrastructure contributing to Argo International Program



- Zakup pływaków Argo jako polskiego wkładu w Euro-Argo ERIC;
- Wodowanie pływaków Argo w Arktyce Europejskiej;
- Odbiór i obróbka danych z pływaków arktycznych;
- Przekazywanie danych pomiarowych do bazy danych CORIOLIS;
- Wodowanie pływaków na Morzu Bałtyckim;
- Odbiór i obróbka danych z pływaków bałtyckich;
- Działalność innowacyjna;
- Koordynacja krajowa i praca w europejskich strukturach Euro-Argo ERIC;
- Praca w strukturach światowych Argo (Argo Steering Group);
- Analiza naukowa danych z pływaków Argo;
- Przygotowanie publikacji naukowych i upowszechnianie wyników.

Aktywne pływaki Euro-Argo w kwietniu 2023



Argo

Euro Argo national contributions

April 2023

Latest locations of operational profiling floats (data distributed within the last 30 days)

- | | | | | |
|----------------|-----------------|--------------------|---------------|------------|
| ● BULGARIA (8) | ● FRANCE (302) | ● IRELAND (16) | ● NORWAY (45) | ● UK (146) |
| ● EUROPE (89) | ● GERMANY (225) | ● ITALY (90) | ● POLAND (11) | |
| ● FINLAND (6) | ● GREECE (5) | ● NETHERLANDS (39) | ● SPAIN (13) | |



Generated by ocean-ops.org, 2023-05-01
Projection: Plate Carree

Argo-Polska

Partnerzy i współpracownicy



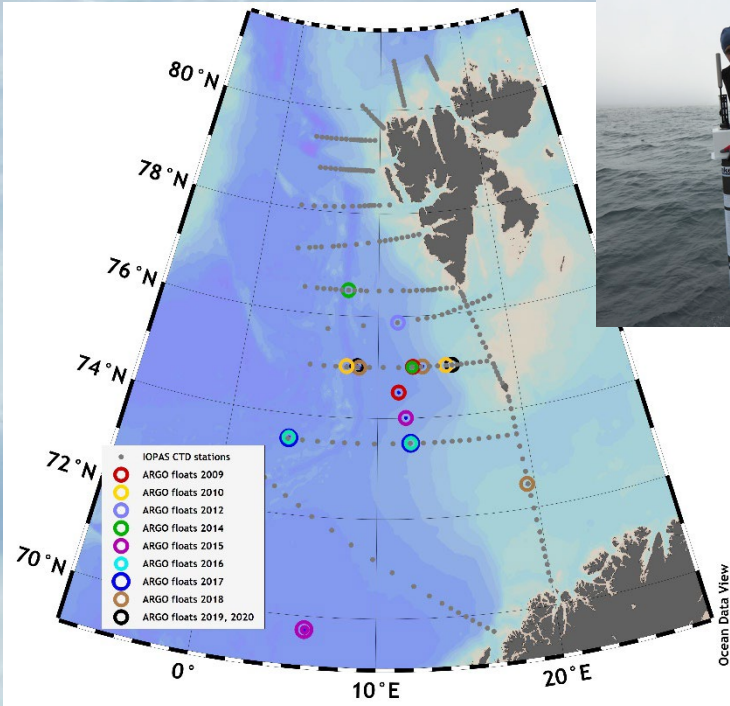
Partnerzy konsorcjum:

- Partner 1. Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk
- Partner 2. Akademia Marynarki Wojennej
- Partner 3. Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk

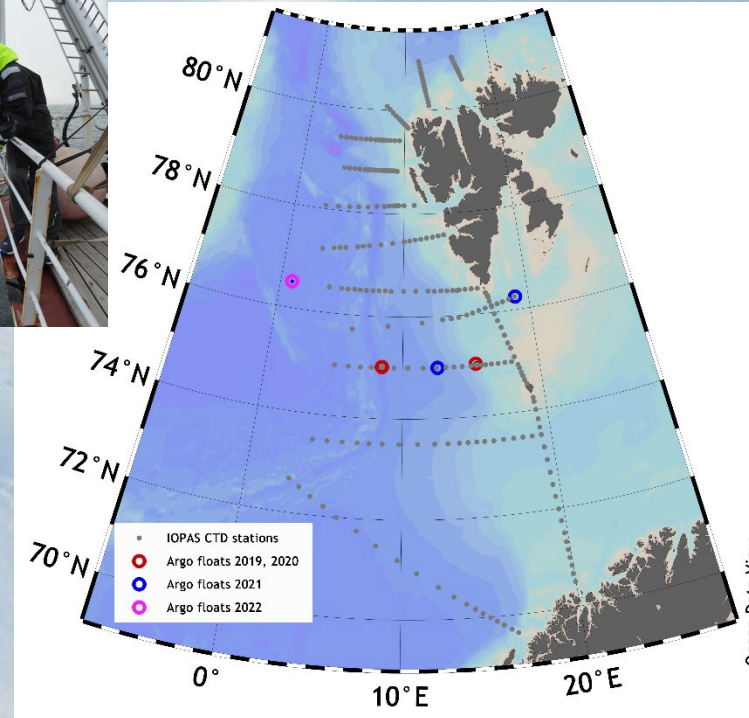
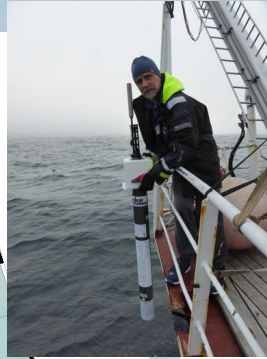
Jednostki współpracujące:

- Konsorcjum eCUDO (Elektroniczne Centrum Udostępniania Danych Oceanograficznych)
- Konsorcjum SatBałtyk (Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego)
- Konsorcjum CBB (Centrum Badań Bałtyku)
- Komitet Badań Morza PAN
- Komitet Badań Polarnych PAN
- Małe i Średnie Przedsiębiorstwa (SME)



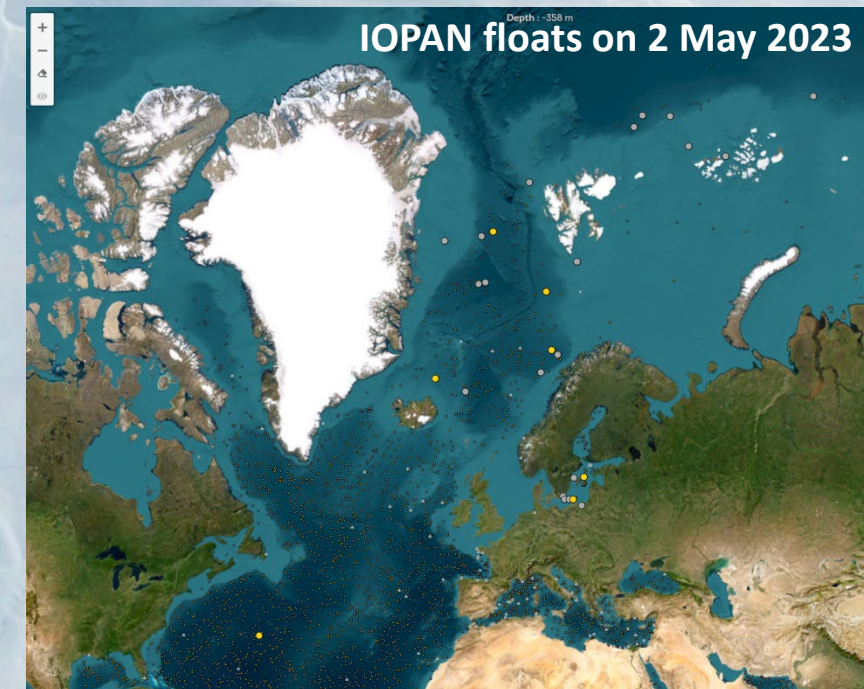


Wodowania 2009-2019



Wodowania 2020-2022

10 floats									
A	WMO	Float S/N PTT	Float	Last Tx	Last cycle	Battery	Launch date	Cruise	Last cycle Poses (dbar)
3902116	AI2632-21EU011	055345	ARVOR	27/04/2023 10:21:30	28	9.3	26/07/2022	AREX2022	2004
3902114	AI2632-21EU010	055474	ARVOR	23/04/2023 00:11:30	66	9.4	07/07/2021	AREX2021	2032
3902113	AI2632-21EU011	055345	ARVOR	06/10/2021 07:59:30	49	10.1	30/06/2021	AREX2021	246
3902111	AI2632-19EU032	873739	ARVOR	20/10/2022 08:20:30	122	9.9	10/07/2020	AREX2020	349
3902112	AI2600-19EU030	863058	ARVOR	29/08/2022 03:42:30	103	9.6	09/07/2020	AREX2020	1788
3902108	AI2600-18EU008	586299	ARVOR	24/10/2021 21:22:12	87	9.4	23/06/2019	AREX2019	15979
3902107	AI2600-18EU007	596958	ARVOR	24/12/2020 14:17:50	113	9.9	22/06/2019	AREX2019	
3902103	AI2600-17EU027	596261	ARVOR	11/09/2022 09:28:34	178	10	30/06/2018	AREX2018	2133
3902102	AI2600-17EU026	596222	ARVOR	26/04/2023 22:53:20	177	9.3	30/06/2018	AREX2018	1458
3902105	AI2600-18EU006	596159	ARVOR	15/05/2020 20:45:30	70	10	23/06/2018	AREX2018	424



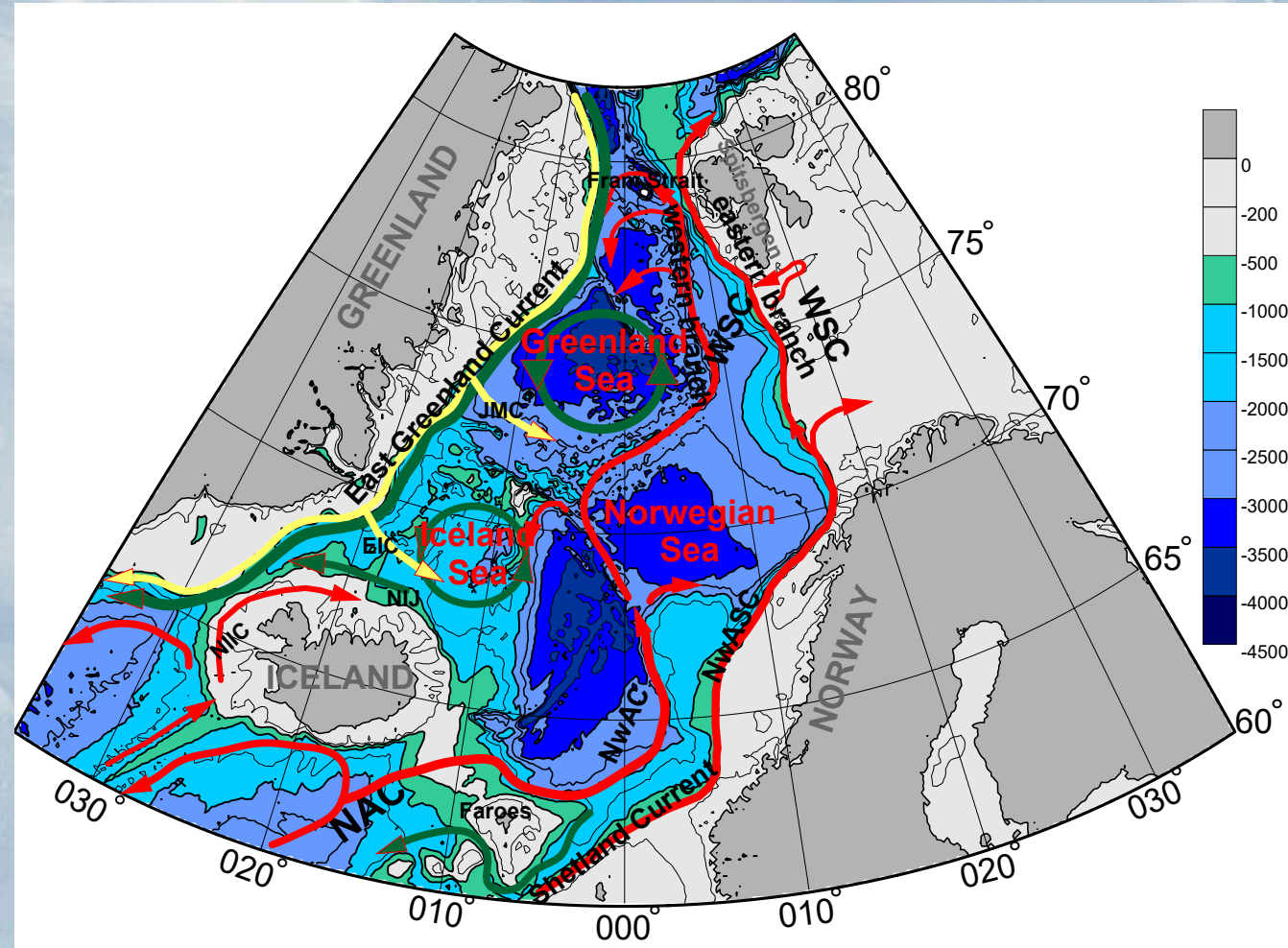
- 2-3 pływaki Argo są wodowane corocznie przez IOPAN od 2009 w Morzu Norweskim i Grenlandzkim podczas ekspedycji AREX (2 floaty planowane w 2023)
- Aktywności Polski w ramach EuroArgo (program ArgoPolska) finansowane są ze źródeł krajowych (druga edycja programu 2022-2026) oraz projektów EU (EA-RISE)
- Dane dostępne są w czasie bliskim rzeczywistemu (NRT) poprzez system Coriolis EuroArgo dashboard: <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>

Strategia wodowania Argo przez IOPAN jest podyktowana układem prądów morskich

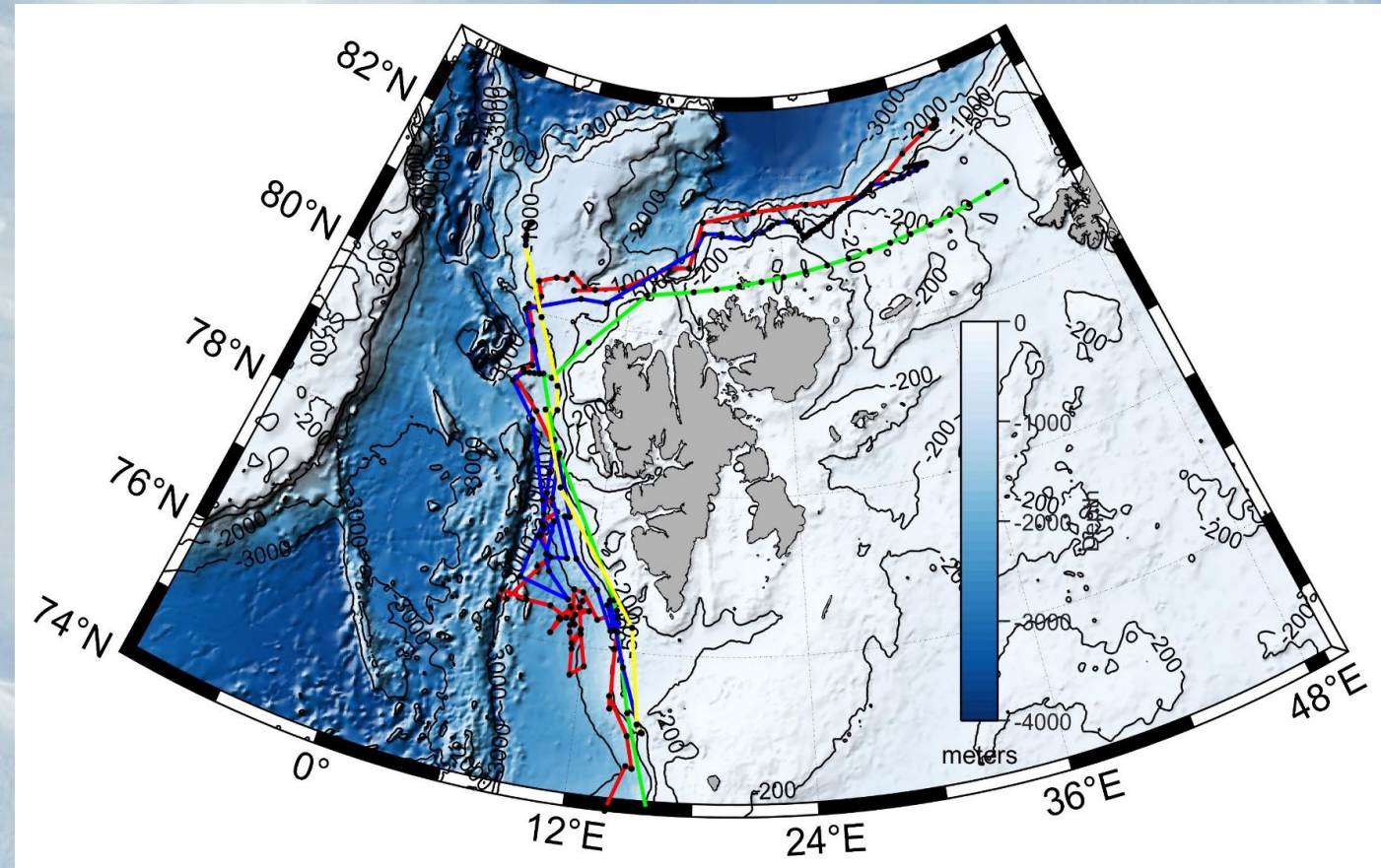
Większość pływaków wodowana jest w obu
gałęziach Prądu Zachodniospitsbergeńskiego:

- pływaki wodowane w zachodniej gałęzi
generalnie recyrkułują na zachód,
- pływaki wodowane w rdzeniu WSC (gałąź
wschodnia) zazwyczaj wpływają do Oceanu
Arktycznego przez Cieśninę Fram
i płyną dalej na wschód.

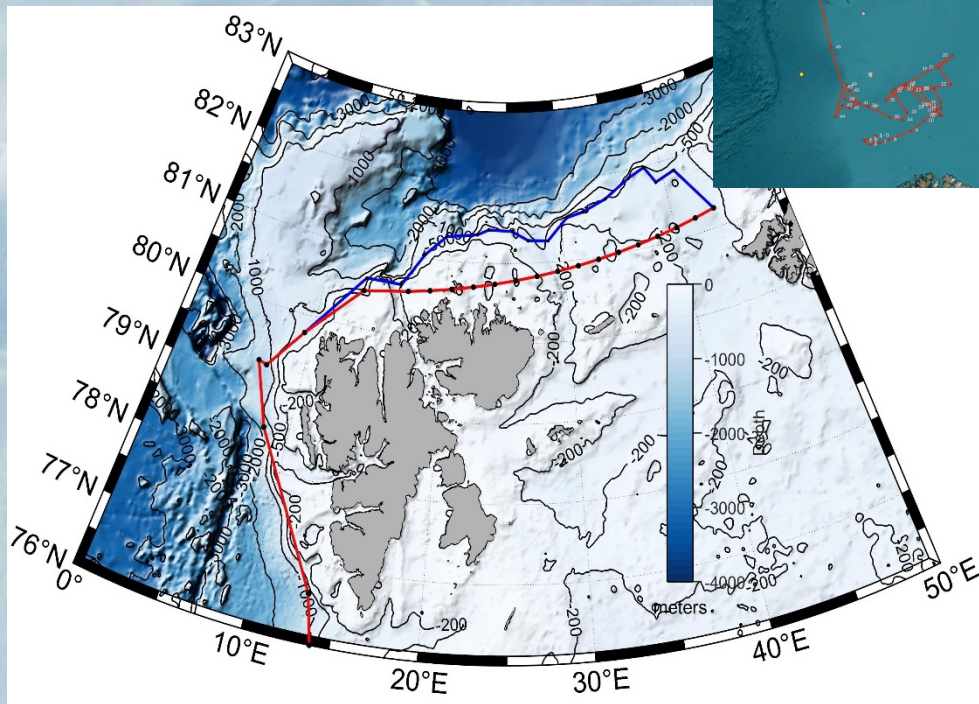
Układ prądów morskich w Morzach Nordyckich



- Cztery pływaki rozmieszczone przez IOPAN w rdzeniu WSC dryfowały na północ nad załamaniem szelfu i górnym zboczem na zachód od Svalbardu.
- Po przejściu Cieśniny Fram trzy pływaki skręciły na wschód i popłynęły nad północnym szelfem Svalbardu w Gałęzi Svalbardzkiej wody atlantyckiej napływającej do Oceanu Arktycznego.
- Po dotarciu do krawędzi lodu morskiego pływaki zniknęły pod lodem.
- Trzy pływaki dryfujące na wschód wynurzyły się ponownie w regionie wolnym od lodu i przestały dane zebrane pod lodem.
- Pod pokrywą lodu morskiego pomiędzy pozycjami GPS, trajektoria pływaka jest interpolowana jako linia prosta.
- Do skorygowania położenia profili zastosowano procedurę opartą na porównaniu maksymalnej głębokości profili i topografii dna.



Float Argo WMO 3902105 czerwiec 2018 - maj 2020



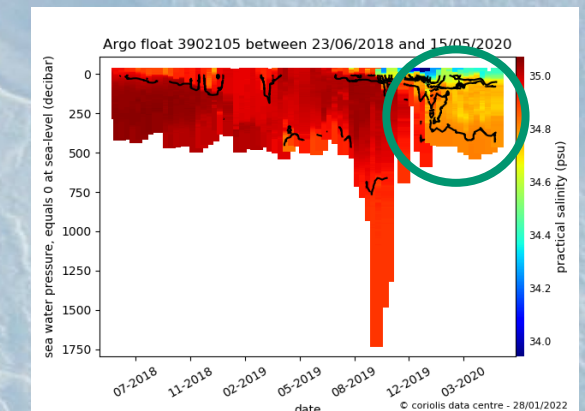
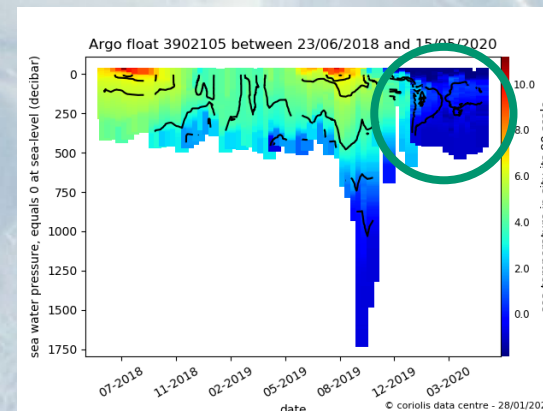
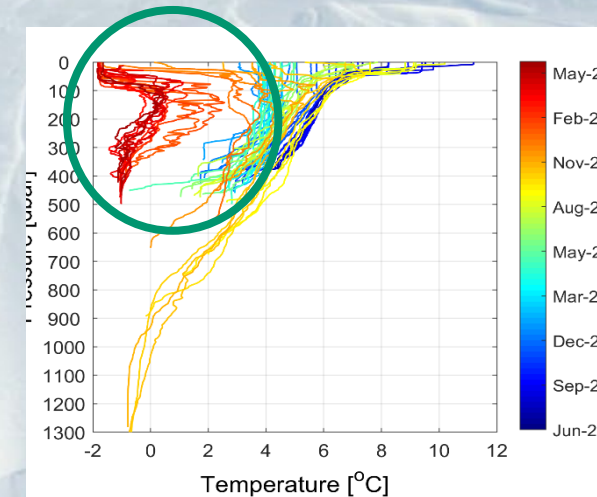
Trajektoria pływaka WMO 3902105

Linia czerwona – interpolacja liniowa

Linia niebieska – estymacja przy użyciu batymetrii

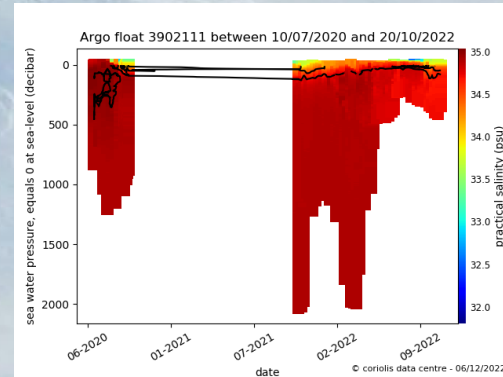
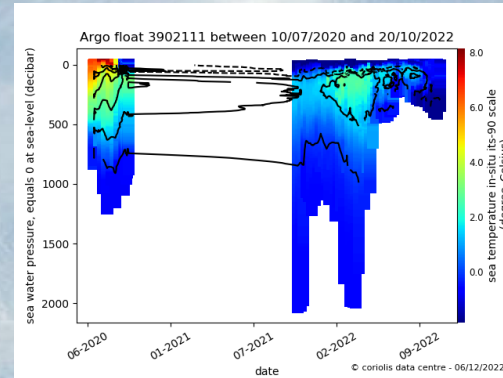
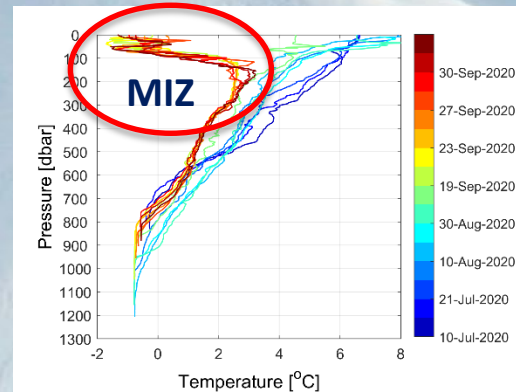
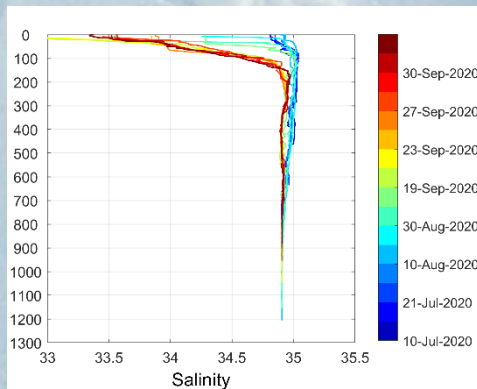
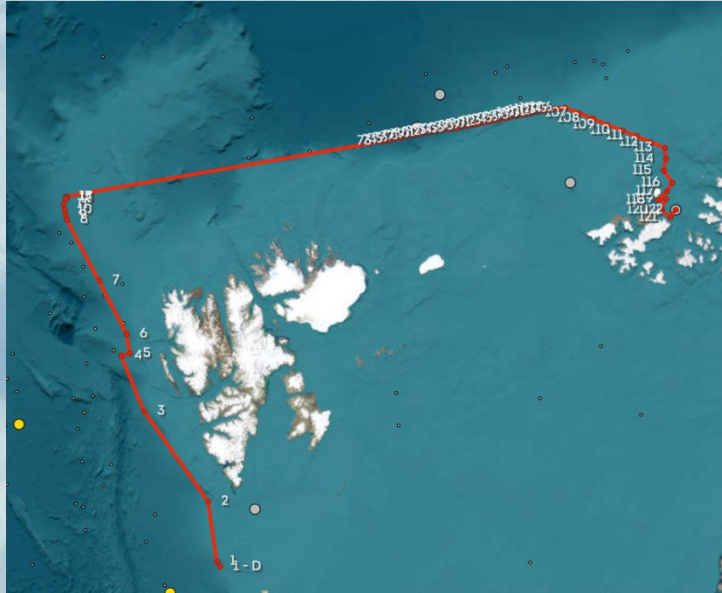
W Oceanie Arktycznym pływaki zazwyczaj znikają pod krą lodową po osiągnięciu krawędzi lodu morskiego. Po pewnym czasie, jeśli dryfując trafią na obszar wolny od lodu, połynię lub nawet szczelinę w pokrywie lodowej, niektóre floaty wynurzają się i przesyłają wszystkie dane zebrane podczas dryfu pod lodem.

Dane zebrane przez pływak Argo podczas przejścia nad załamaniem szelfu na północ od Svalbardu



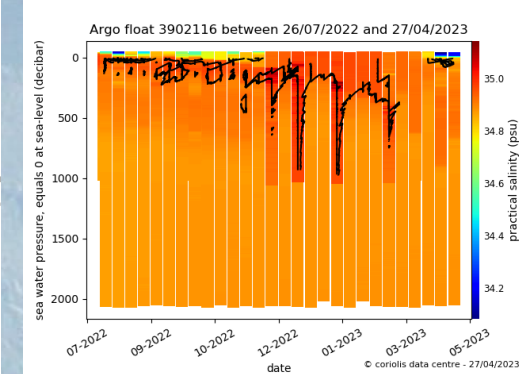
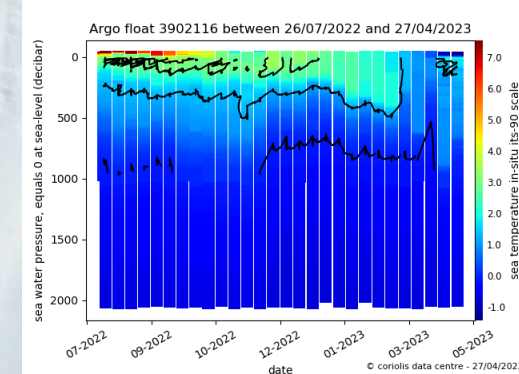
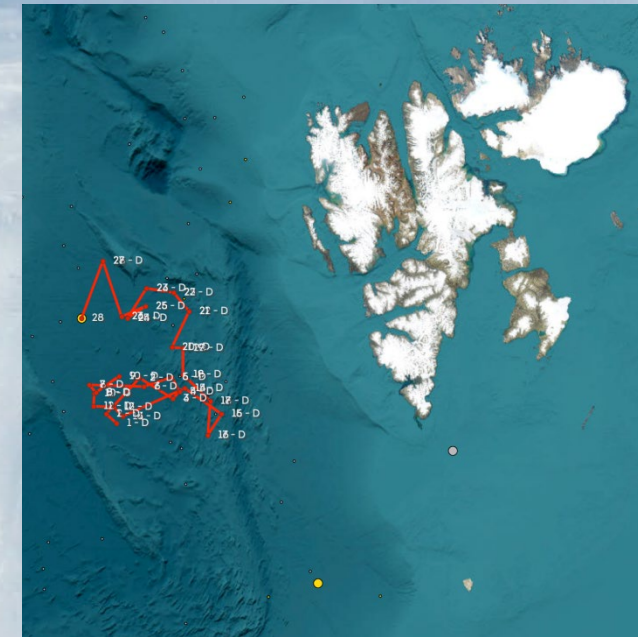
Float Argo WMO 3902111

10 lipca 2020 – 20 października 2022



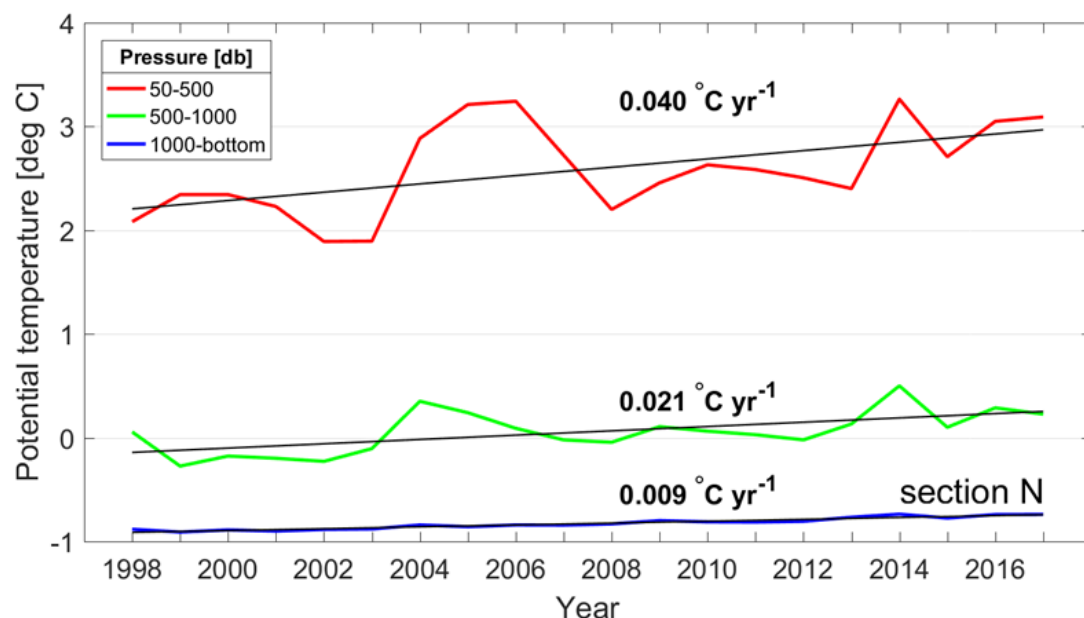
Float Argo WMO 3902116

27 lipca 2022 – 2 maja 2023

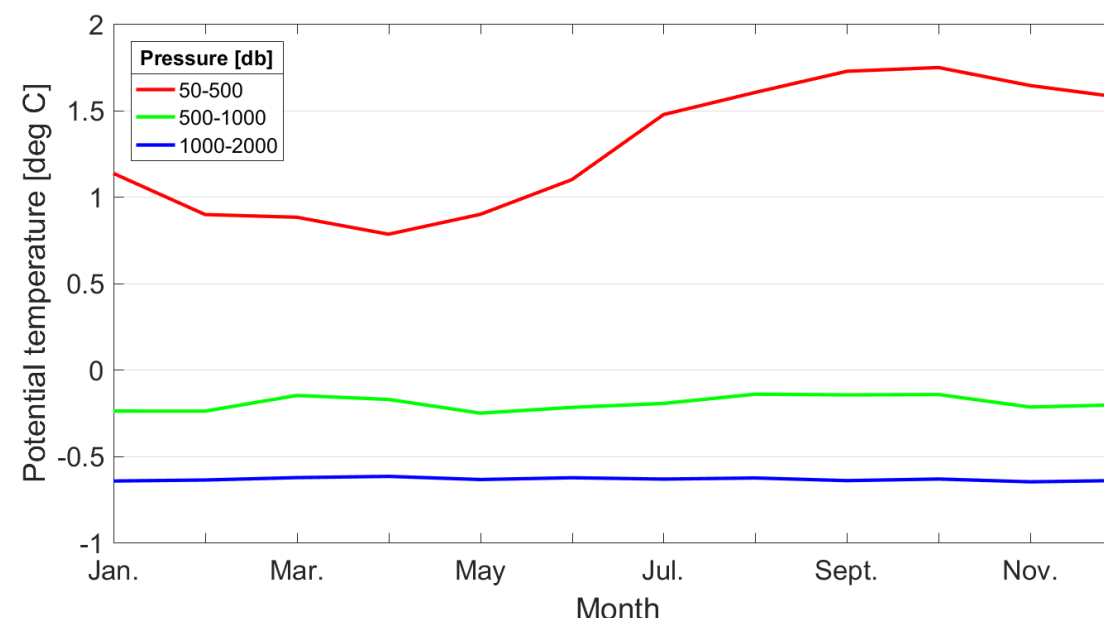


Połączenie danych Argo i danych synoptycznych z przekroju N

Międzyletnia zmienność temperatury wody
dla warstw powierzchniowej, pośredniej
i głębinowej (dane AREX)



Cykl sezonowy temperatury wody
w warstwach powierzchniowej, pośredniej
i głębinowej (dane Argo)





Argo-Polska

Dotychczasowe osiągnięcia



- Polska należy do światowej organizacji Argo;
- Dane Argo-Polska jako jedyne polskie dane oceanograficzne trafiają regularnie do światowych baz danych;
- Dane z polskich pływaków Argo wykorzystywane są w celach operacyjnych oraz naukowych;
- Pracujemy w programach UE Horyzont 2020 i innych;
- Wodowaliśmy 24 pływaki w Arktyce i 12 na Bałtyku;
- Jesteśmy liderem badań arktycznych, poszerzamy ich zakres;
- Zapoczątkowaliśmy badania Bałtyku Południowego;
- Zaczęliśmy obrabiać dane w modzie opóźnionej (DMQC);
- Prowadzimy prace innowacyjne;
- Dane Argo użyte zostały przez IOPAN w trzech doktoratach;
- Liczne prezentacje na konferencjach międzynarodowych;
- Opublikowano liczne artykuły w czasopismach międzynarodowych.

Mooring oceanograficzny:

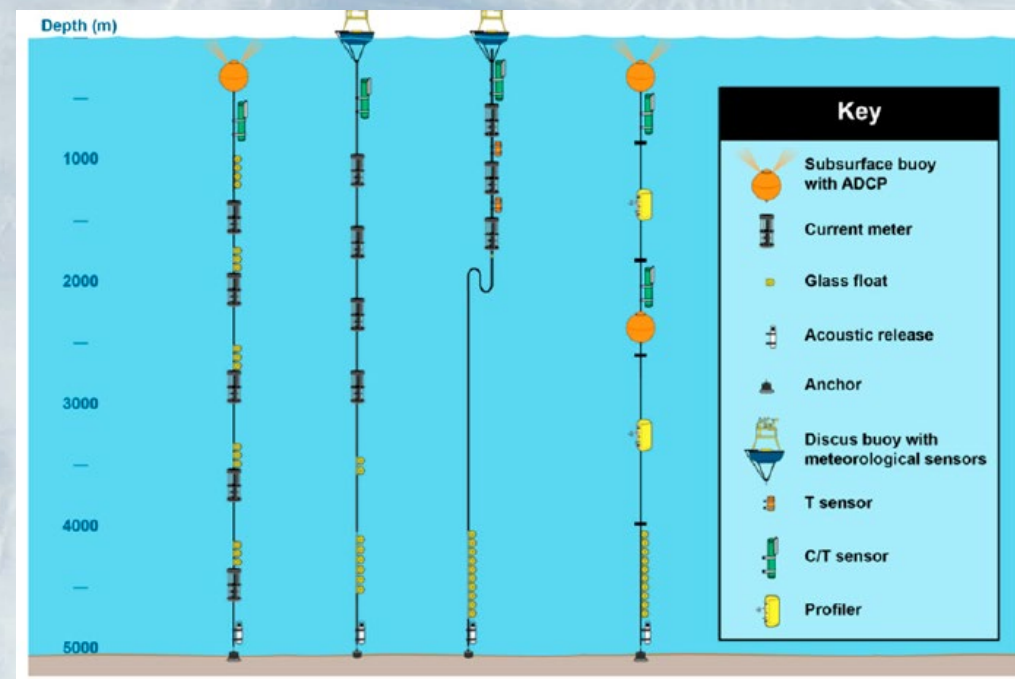
platforma obserwacyjna zakotwiczona na dnie z dołączoną liną lub kablem nośnym, do którego przymocowane są autonomiczne przyrządy pomiarowe umieszczone w toni wodnej, zakończona kulami lub pływakami wypornościowymi, służącymi do utrzymania napięcia liny nośnej i pionowej pozycji mooringu

Pomiar Eulerowski:

właściwości wody (m.in. ciśnienie, temperatura, zasolenie, przepływ) mierzone są w ustalonym położeniu i opisywane w funkcji czasu

Odpowiednie dla pomiarów długoterminowych:

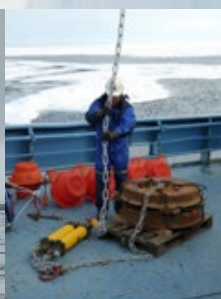
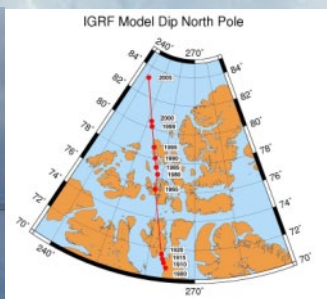
- wysoka rozdzielczość czasowa (zazwyczaj od minut do godzin),
- rozdzielczość pionowa zależy od ilości, rozłożenia i rodzajów instrumentów i sensorów,
- zazwyczaj raczej niska rozdzielczość przestrzenna (tylko kilka gęstych szeregów mooringów w kluczowych rejonach Oceanu Światowego)

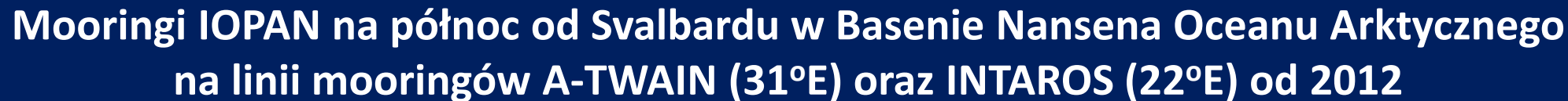


Wyzwania dla operacji mooringowych w rejonach arktycznych



- Pokrywa lodu morskiego uniemożliwiająca nawigację i operacje bez lodołamaczy lub statków ze wzmocnieniem lodowych, utrudniająca dostęp do powierzchni (np. komunikację satelitarną),
- Zagrożenie ze strony dryfujących gór lodowych, dryfującego i piętrzącego się lodu morskiego czy dużej kry lodowej,
- Ekstremalnie niskie temperatury (również wody), silne sztormy, zmienna pogoda, silne zachmurzenie i częste mgły (szczególnie w rejonach MIZ),
- Noc polarna – przez prawie pół roku praca w ciężkich warunkach w ciemności,
- Odległe rejony, brak regularnego ruchu statków, trudna logistyka prac na morzu,
- Bliskość bieguna magnetycznego – problemy z instrumentami używającymi kompasu,
- Silna stratyfikacja, mały promień deformacji, małe skale przestrzenne – wysoka rozdzielczość pomiarów,
-





- Dwa mooringi IOPAN wystawione w listopadzie 2021 z lodołamacza norweskiego Kronprins Haakon, planowane wydobyć i ponowne wystawienie w 2023**

- ① shackle
- ② link
- ③ swivel

Diagram illustrating the mooring system components and their depths (m) for the XEOS Kilo IMEI 309241NR22820.

Mooring System Components and Depths:

- 42.5 m (top)
- Elliptical synthetic float 46" (buoyancy 285 kg) with XEOS Kilo IMEI 309241NR22820 with Nortek Signature 250 upward SN 100716 and SBES37 SN 13100716 → 47 m
- 3 m - 1/2" mooring chain → 47 m
- Steel McLane sphere 37" (buoyancy 318 kg) → 47 m
- 1 m - 1/2" mooring chain → 48.7 m
- CAT Pinger SN 48538 and RBR T.ODO SN 202279 → 49.7 m
- 2.3 m - 1/2" mooring chain → 50.7 m
- 5 m - 10mm Kevlar w/ 4 x 17" glass balls (orange Vitroex) → 53 m
- 2 m - 1/2" mooring chain → 58 m
- 75 kHz LR-ADCP S/N 16071 downward looking in RDI frame → 60 m (ADCP R)
- 1 m - 1/2" mooring chain → 62 m (ADCP)
- 5 (Kevlar) +10 (Kevlar) +10+20 m - 8mm Dyneema → 63 m (Kevlar) → 108 m (TABLE A (f))
- 200 m - 8mm Dyneema → 308 m (TABLE B)
- 200 m - 8mm Dyneema → 308 m (TABLE C)
- 2m Kevlar → 508 m
- Aural SN 00308LF → 510 m
- 2m Kevlar → 511 m
- 200 m - 8mm Dyneema → 513 m
- 500 m - 10mm Kevlar → 713 m (TABLE D)
- 500 m - 10mm Kevlar → 713 m (TABLE E)
- 5 m - 8mm Dyneema w/ 4 x 17" glass balls (orange Vitroex) → 1213 m (Kevlar)
- 4 m - 5/8" mooring chain → 1222 m
- ORE 8242XS SN 56181 Enable: Release: → 1218 m
- ORE 8242XS SN 32586 Enable: Release: → 1222 m
- 1.5 m 5/8" mooring chain → 1227 m
- Anchor approx. 1000 kg → 1227 m

Instrument Details Table:

Instrument name	Marking	SN	Depth
Nortek Signature250		100716	47 m
Seabird SBE37SMP		12962	47 m
RBR Duo3 T.ODO		202279	58 m
TDO ADCP LR 75 Hz		16071	60 m
Seabird SBE37SMP	MCAT1	11661	100 m
RBR Solo3 T	S1	201700	110 m
RBR Solo3 T	S2	201701	120 m
RBR Solo3 T	S3	201702	130 m
RBR Solo3 T	S4	201703	140 m
RBR Conco3b CTD	C1	202279	160 m
RBR Solo3 T	S5	201704	160 m
RBR Solo3 T	S6	201705	170 m
RBR Solo3 T	S7	201706	180 m
RBR Solo3 T	S8	201707	190 m
Seabird SBE37SMP	MCAT2	8762	200 m
RBR Duo3 T.ODO	T1	202280	220 m
RBR Solo3 T	S9	201708	240 m
RBR Solo3 T	S10	201709	260 m
RBR Solo3 T	S11	201710	280 m
Seabird SBE37SMP	MCAT3	11662	300 m
RBR Solo3 T	S12	201711	320 m
RBR Solo3 T	S13	201712	340 m
RBR Solo3 T	S14	201713	360 m
RBR Solo3 T	S15	201714	380 m
Seabird SBE37SMP	MCAT4	8763	400 m
RBR Solo3 T	S16	201715	420 m
RBR Solo3 T	S17	200843	450 m
RBR Solo3 T	S18	200844	475 m
RBR Duo3 T	D1	202288	500 m
AURAL	00308LF	516 m	
RBR Solo3 T	S19	102883	525 m
RBR Solo3 T	S20	102884	550 m
RBR Solo3 T	S21	102885	575 m
RBR Conco3b CTD	C2	202276	600 m
RBR Solo3 T	S22	102886	650 m
RBR Duo3 T	D2	202289	700 m
RBR Solo3 T	S23	102887	750 m
RBR Conco3b CTD	C3	202277	800 m
RBR Solo3 T	S24	102888	850 m
RBR Solo3 T	S25	102897	900 m
RBR Solo3 T	S26	102898	950 m
RBR Duo3 T Deep	D40	202272	1000 m
RBR Solo3 T	S26	102890	1100 m
RBR Duo3 T Deep	S27D	202287	1215m

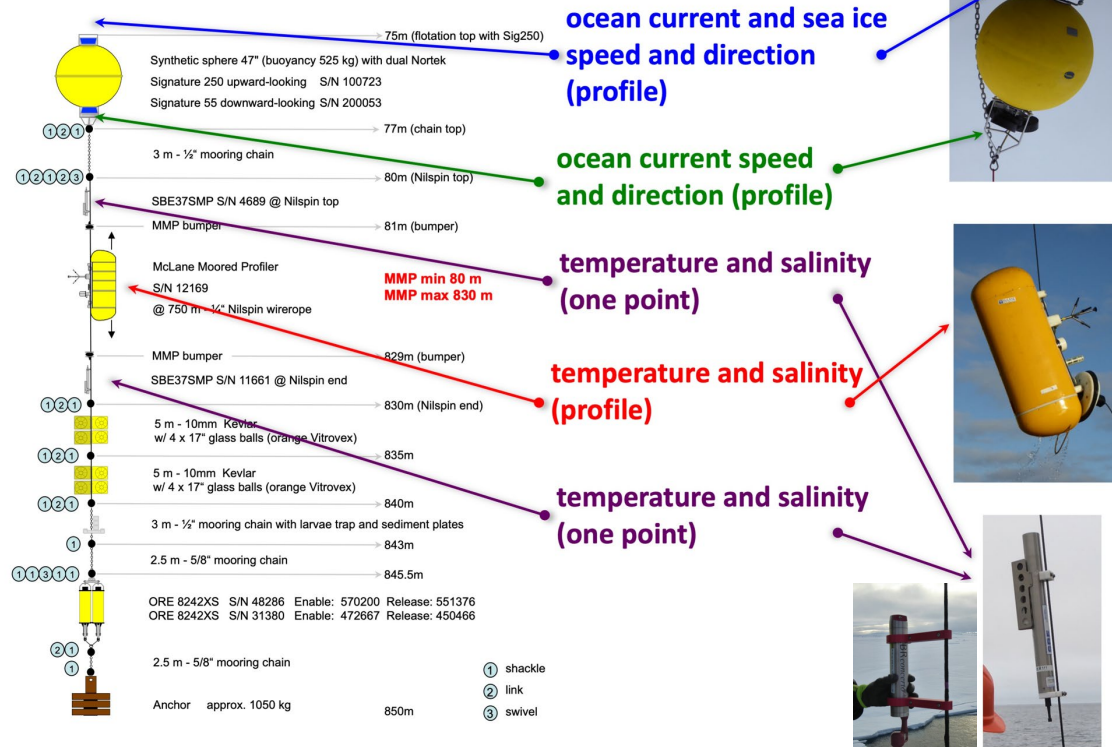
Legend:

- ① shackle
- ② link
- ③ swivel

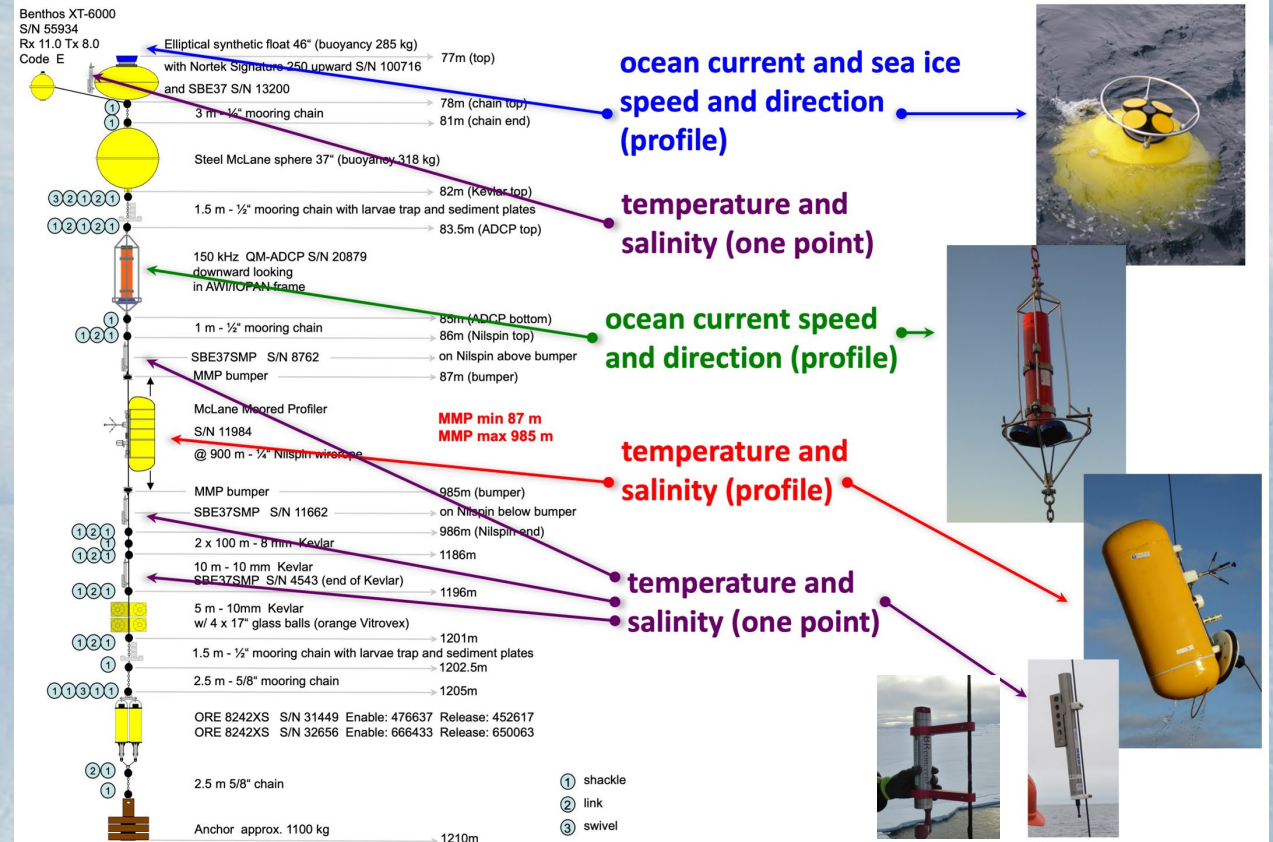
- ① shackle
- ② link
- ③ swivel

Przykłady autonomicznych instrumentów pomiarowych na mooringach IOPAN

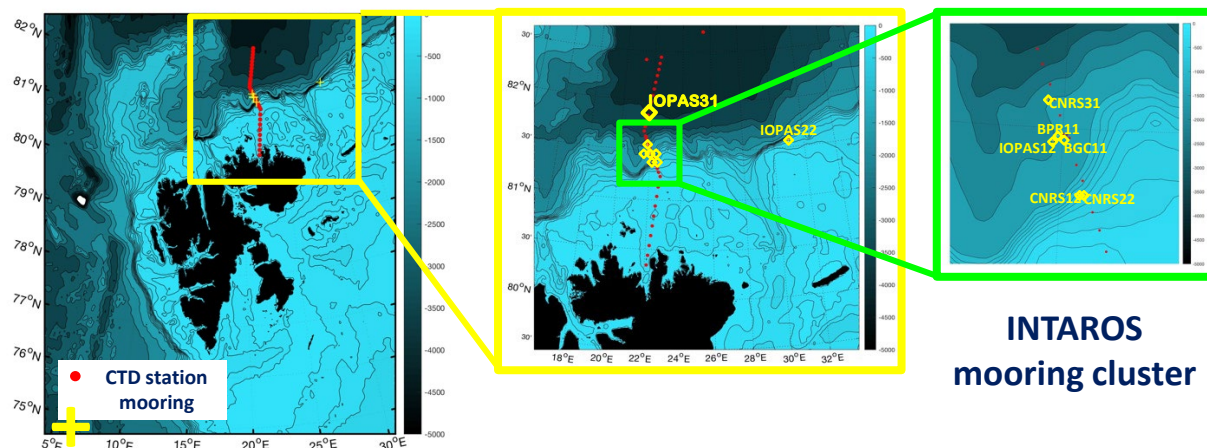
Mooring ID	IOPAS9	Latitude	81° 29.3870'N
Deployed	22.09.2017 13:10 UTC	Longitude	022° 00.2295'E
Release method: Released with releaser when at the bottom with wire length of ~85m (at the angle of 10-15°)		Water depth	854m (echo sounder)



Mooring ID	IOPAS8	Latitude	81° 34.508' N
Deployed	20.09.2017 16:02 UTC	Longitude	031° 00.301' E
Release method: released with releaser after adjusting ship position to 2010m with ~80-90m release wire length		Water depth	1210 m (echo sounder)



Mooringi z instrumentami profilującymi oraz pomiarami punktowymi do pomiaru zmiennych fizycznych oceanu oraz lodu morskiego (IOPAN, LOCEAN, NERSC, UiB-GFI)

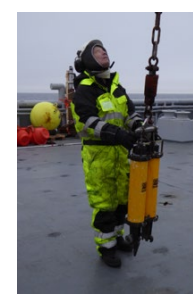
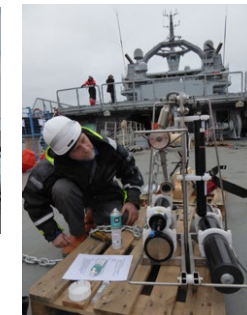


- Okres 2017-2018: 2 mooringi – zmienne fizyczne
- Okres 2018-2019: 7 mooringów z multidyscyplinarnymi pomiarami
- Okres 2019-2020: 4 mooringi (w tym jeden głęboki mooring 3.5 km)
- Okres 2021-2023: 3 mooringi (2 LOCEAN and 1 IOPAN)

Operacje mooringowe we współpracy z Norweską Strażą Przybrzeżną (Iodołamacz KV Svalbard) oraz projektem A-TWAIN (RV Lance i Iodołamacz RV Kronprins Haakon)

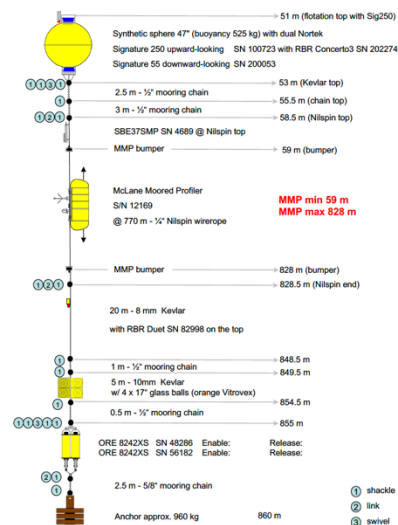
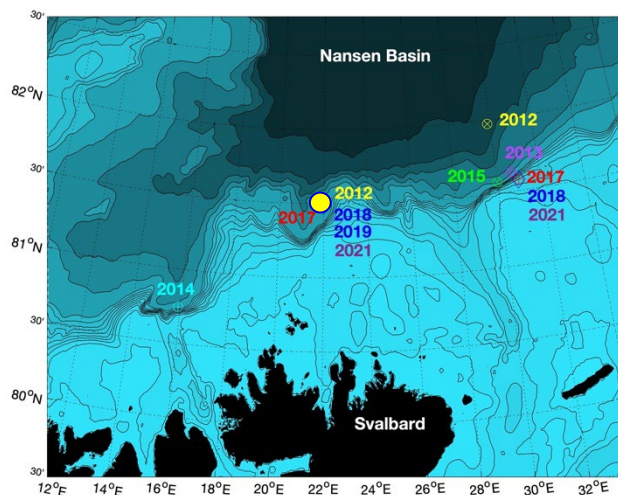
Wypożyczenie mooringów INTAROS w latach 2017-2021:

- Moored McLane Profilers (temperatura, zasolenie, prądy)
- Profilerzy dopplerowskie TRDI QM i LR ADCPs (prądy morskie)
- Profilerzy dopplerowskie Signature 55 Dual Freq Nortek ADCP (prądy morskie, różna rozdzielczość)
- Profilerzy dopplerowskie Nortek Signature 250 ADCP (prądy morskie, dryf i zanurzenie lodu morskiego)
- Czujniki CTD(O) Microcats SBE37 i RBR Concerto3
- Czujniki temperatury i ciśnienia RBR Solo/Duet and SBE56
- Czujniki biogeochemiczne (pH, pCO₂, N, UVP6, ...)

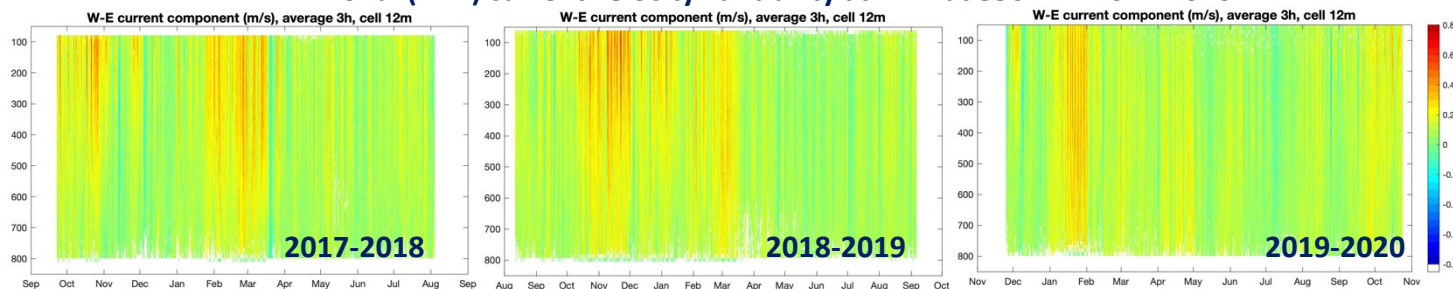




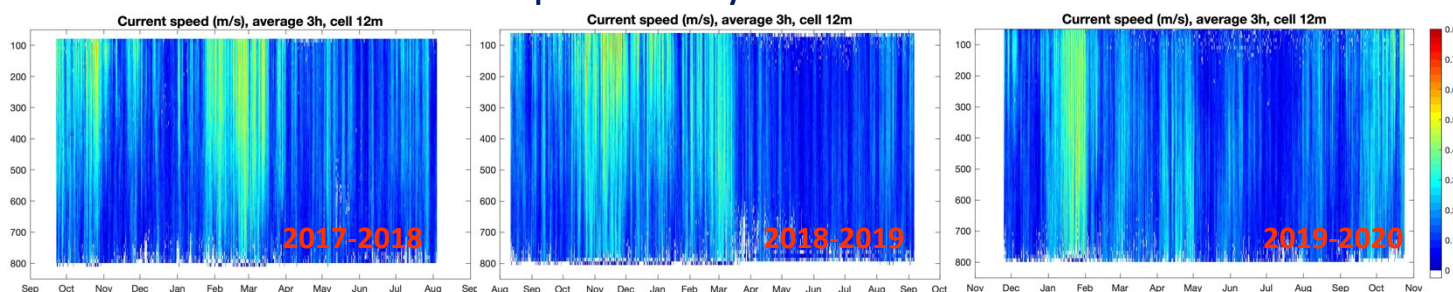
Serie czasowe zmiennych fizycznych z mooringu IOPAN na 22°E na głębokości 850m



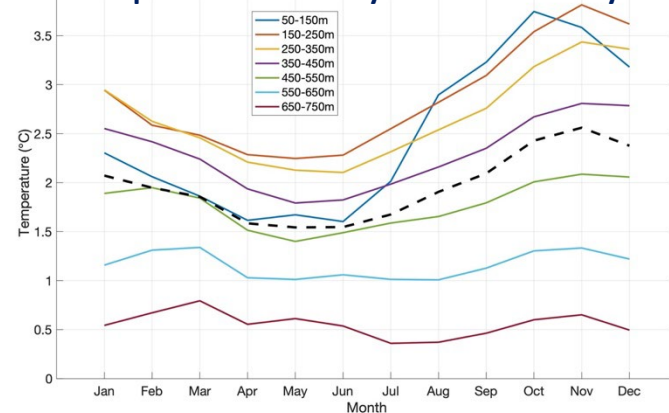
Zonal (W-E) current velocity variability at 22°E at 850m in 2017-2020



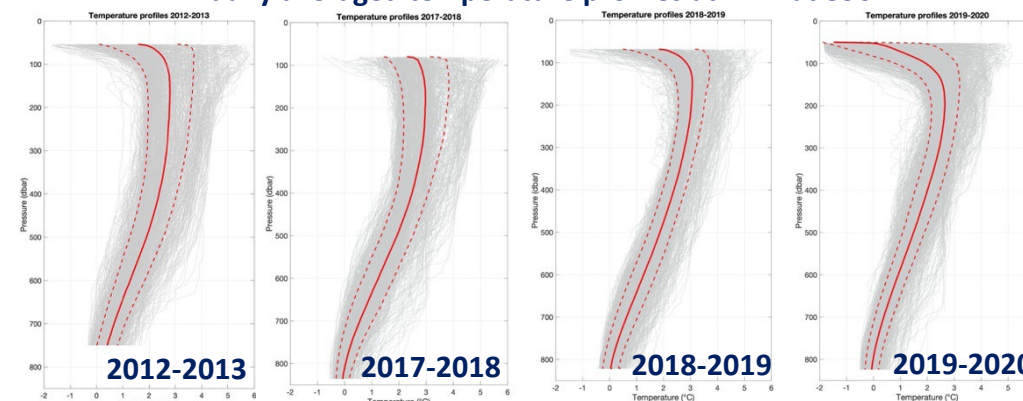
Current speed variability at 22°E at 850m in 2017-2020



Temperature annual cycle in different layers



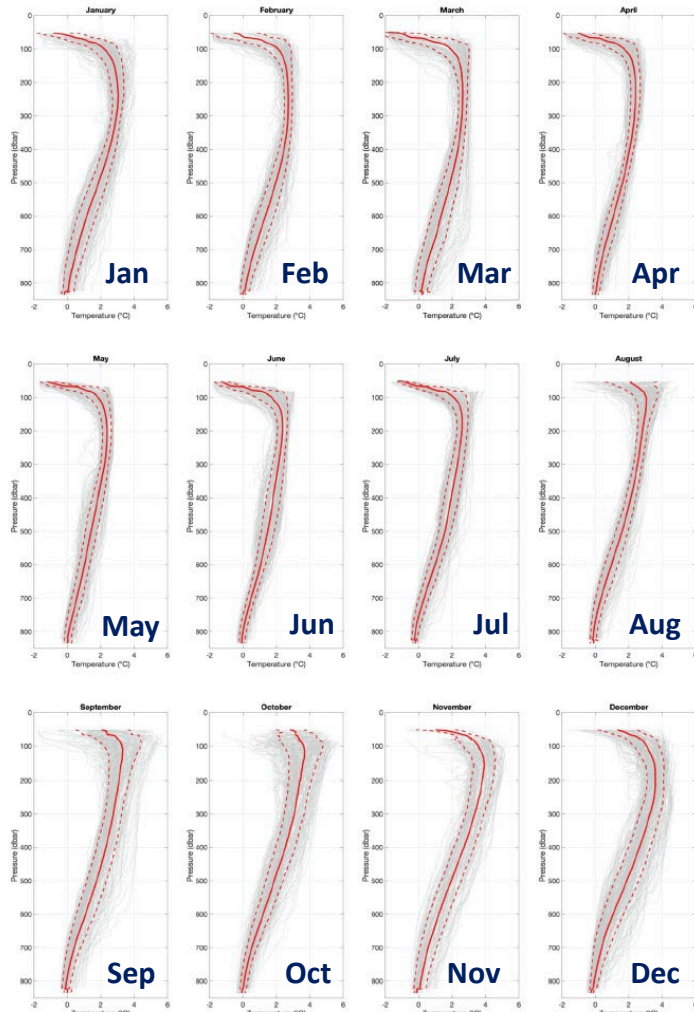
Annually averaged temperature profiles at 22°E at 850m



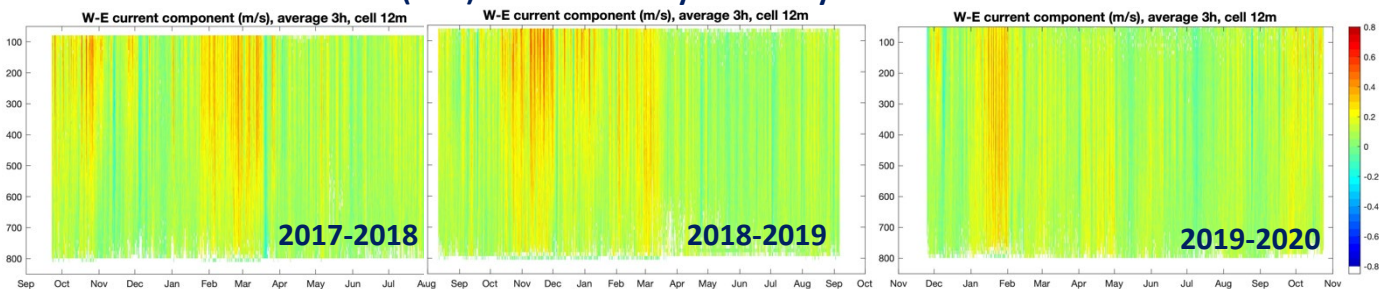


Serie czasowe zmiennych fizycznych z mooringu IOPAN na 22°E na głębokości 850m

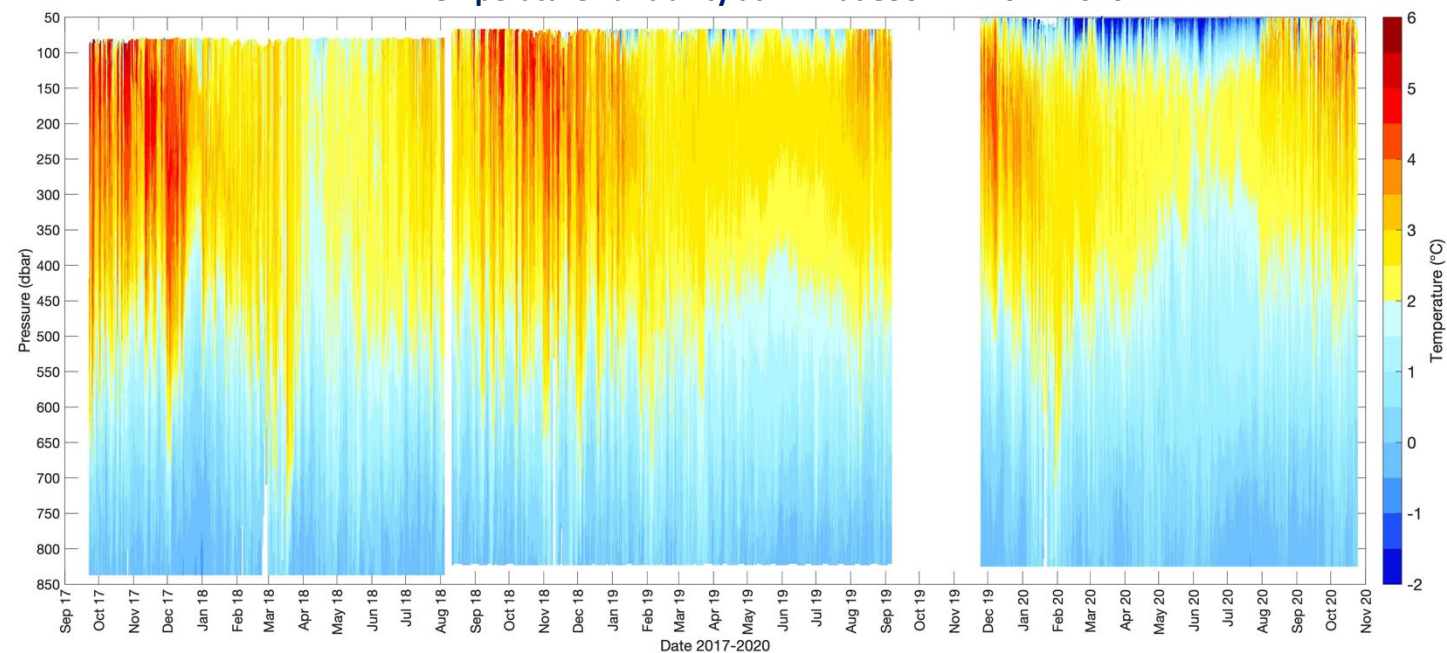
Monthly mean temperature profiles (2012-2020)



Zonal (W-E) current velocity variability at 22°E at 850m in 2017-2020



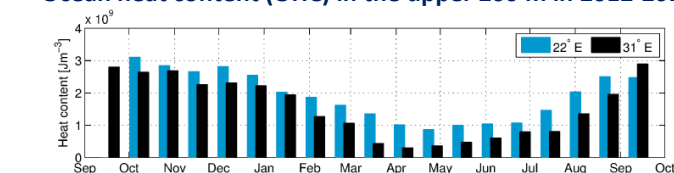
Temperature variability at 22°E at 850m in 2017-2020



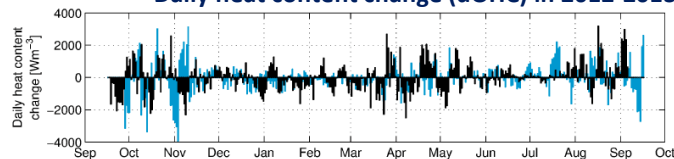
Mooring IOPAN na 850m (górny skłon) – porównanie zmian w okresach 2012-2013 i 2017-2020

- Silna zmienność sezonowa z maksymalnymi wartościami zimą
- Zima 2018/19 wyjątkowa z ciepła i grubą warstwą wody atlantyckiej, zachowanej podczas następującej poniej wiosny i lata
- Związki między koncentracją lodu morskiego a temperaturą i wielkością transportu wody atlantyckiej nie są jednoznaczne – udział innych mechanizmów (również atmosferycznych) jest istotny
- Zmiany zawartości ciepła oceanicznego w górnej warstwie 200 m zgodne z wcześniejszymi oszacowaniami (2012-2013), jedna silniejsza zmienność w okresie 2017-2020

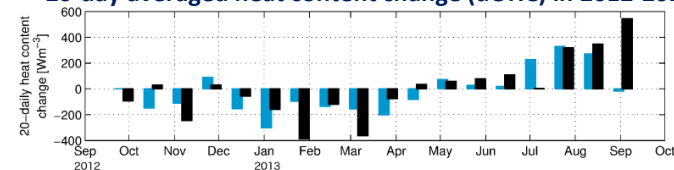
Ocean heat content (OHC) in the upper 200 m in 2012-2013



Daily heat content change (dOHC) in 2012-2013

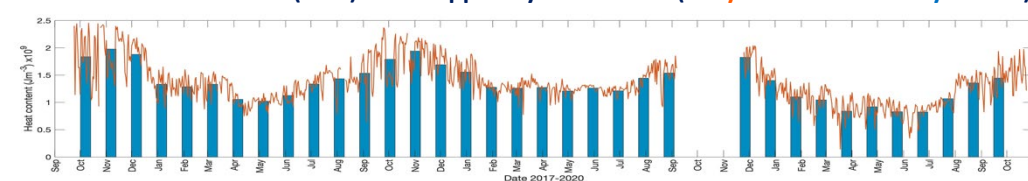


20-day averaged heat content change (dOHC) in 2012-2013

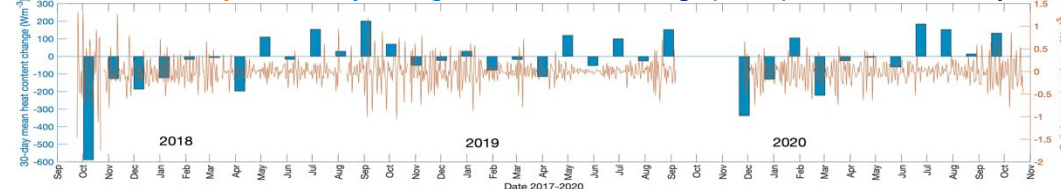


Renner et al., JGR, 2018

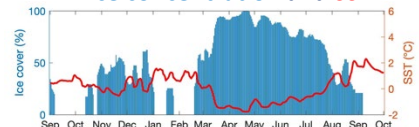
Ocean heat content (OHC) in the upper layer 80-200 m (daily values and 30-day means)



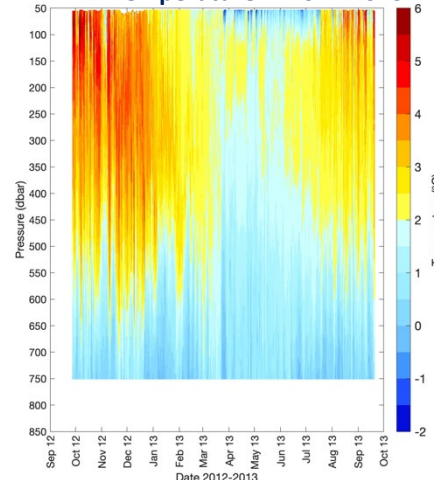
Daily and 30-day averaged heat content change (dOHC) in the 80-200 m layer



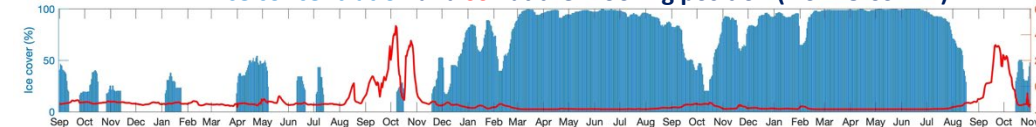
Ice concentration and SST



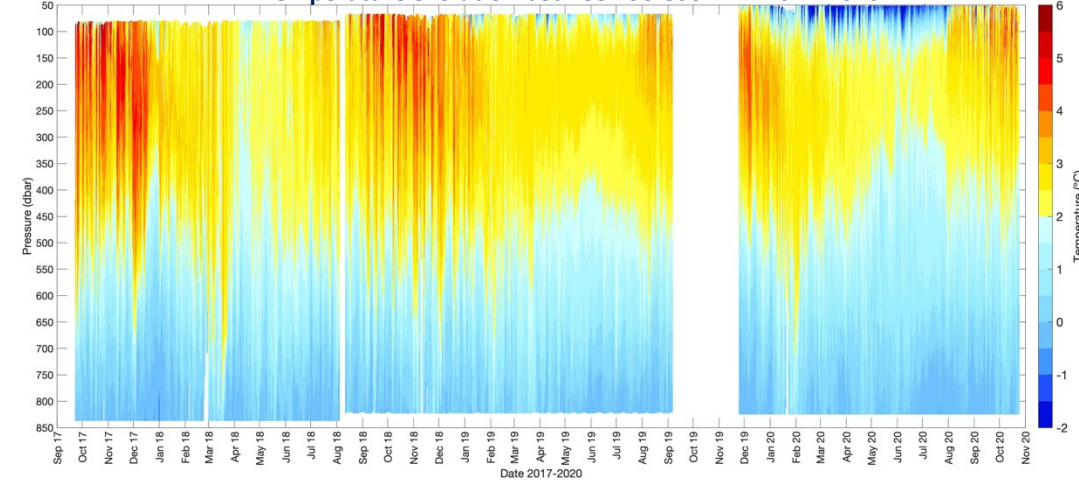
Temperature in 2012-2013



Ice concentration and SST at the mooring position (from OISST v2)

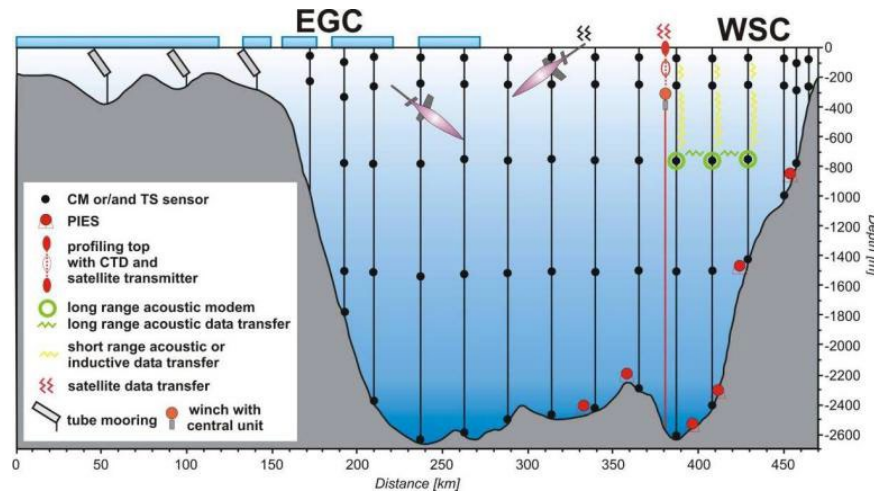
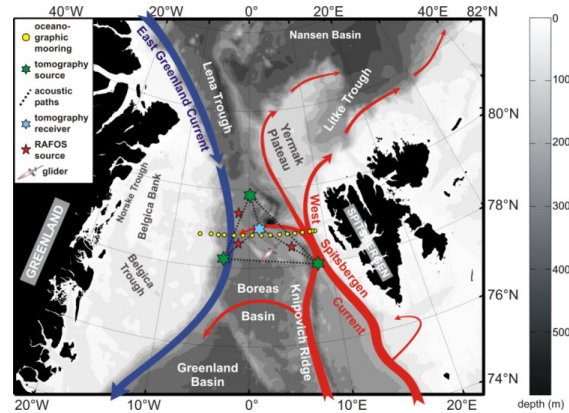
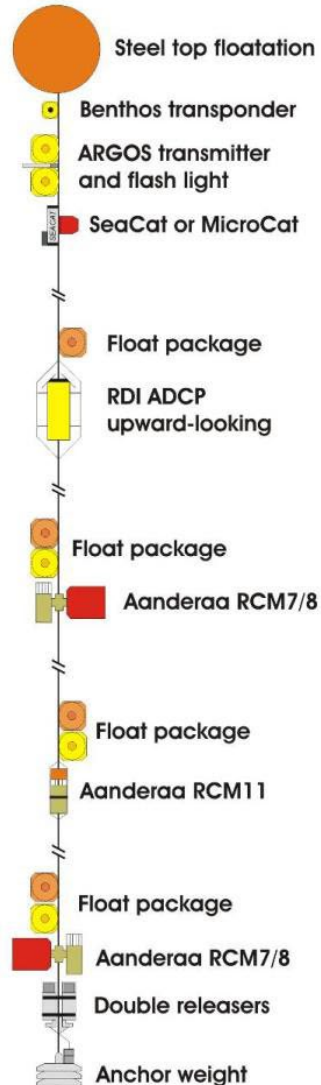


Temperature evolution between 50-830 m in 2017-2020



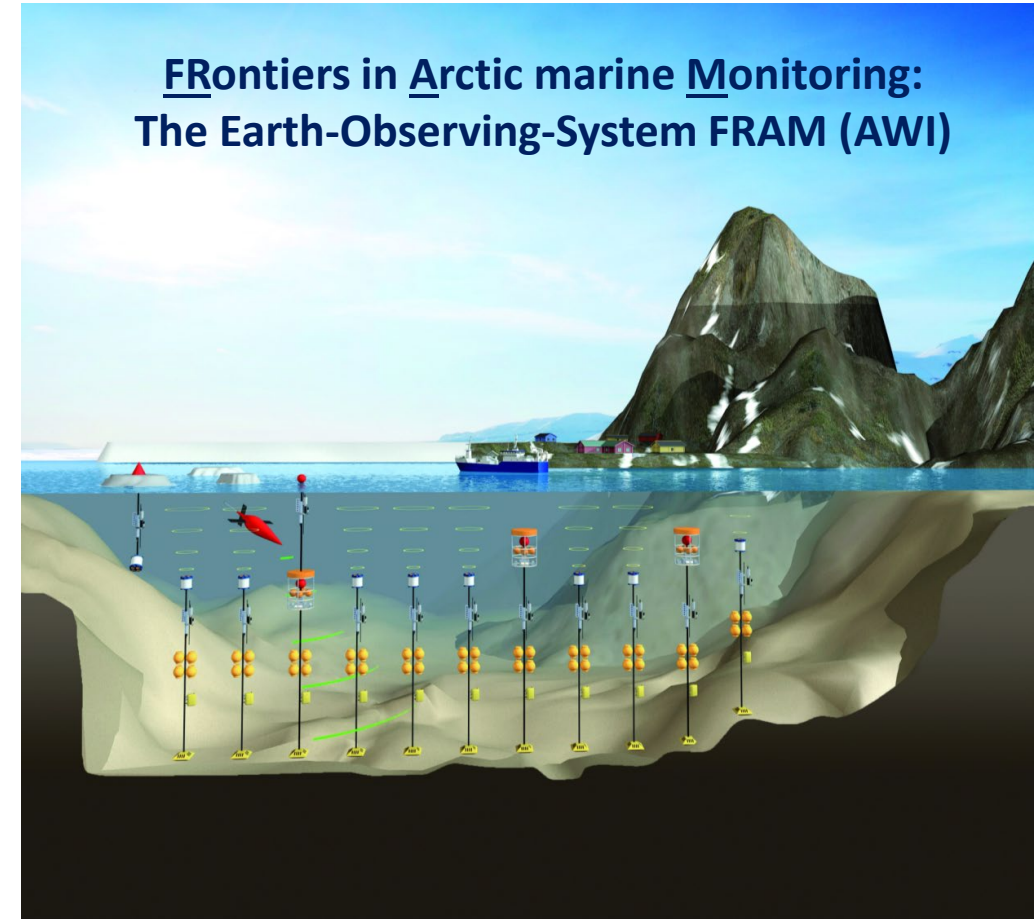
System mooringów AWI/NPI w Cieśninie Fram (ASOF, DAMOCLES, ACOBAR 1997-2012) i jego kontynuacja (system FRAM planowany przez AWI)

Wykorzystanie gliderów (autonomicznych pojazdów podwodnych) w połączeniu z podpowierzchniowymi mooringami



16-18 mooringów oceanograficznych
utrzymywanych w 1997-2012
przez AWI (Niemcy) i NPI (Norwegia)
w północnej Cieśninie Fram wzdłuż 78°50'N

**FRontiers in Arctic marine MOnitoring:
The Earth-Observing-System FRAM (AWI)**



Wizja przyszłości systemu obserwacyjnego FRAM
planowanego/wdrażanego przez AWI
w Cieśninie Fram i Oceanie Arktycznym

Projekt ERA.Net MarTERA BIOGLIDER

- Zadanie IOPAN i OB – zaprojektować, zbudować i przetestować system do akustycznej podwodnej telemetrii danych między mooringiem i gliderem.
- Szczególnie użyteczny w przypadku podpowierzchniowych mooringów w rejonach pokrytych lodem morskim, gdzie dane mogą być odczytane dopiero po wydobyciu mooringu.
- Ocena optymalnych warunków propagacji dźwięku (głębokość kanału dźwiękowego, straty transmisji, geometria systemu) w środowisku arktycznym dla komunikacji przy użyciu modemów akustycznych między instrumentami na mooringu a gliderem => “proof of concept”.
- Pierwsze testy in situ podczas rejsu RV Oceanii na Bałtyku w maju 2023, dalsze testy w rejonie arktycznym w Cieśninie Fram podczas rejsu AREX2023.
- Dalsze wykorzystanie rozwiniętego rozwiązania na eksperymentalnym mooringu na północ od Svalbardu w ramach projektu HE HIAOOS (High Arctic Ocean Observing System, 2023-2027), planowane wystawienie w roku 2025.





Podsumowanie i wnioski

- Rośnie znaczenie autonomicznych urządzeń w pomiarach oceanograficznych.
- Pływaki Argo to wiarygodne i względnie tanie źródło danych oceanograficznych dostarczanych w czasie rzeczywistym.
- Oceaniczna siatka pływaków Argo jest dobrze zorganizowana i utrzymywana, dane pomiarowe dostępne są bez ograniczeń online w serwisie Coriolis.
- Kompleksowe użycie danych ze statkowych pomiarów synoptycznych, pływaków Argo i mooringów daje wartość dodaną.
- Trudne warunki panujące w Arktyce powodują, że rozwój Argo na tym obszarze jest wolniejszy. Jednak zmiana klimatu i cofanie się lodu morskiego sprawiają, że Arktyka staje się ważnym szlakiem żeglugowym. W tej sytuacji wzrośnie rola serwisów operacyjnych i znaczenie Argo w Arktyce.
- Argo już pokazuje swoją przydatność do pomiarów pod lodem, ale konieczny jest dalszy rozwój technologiczny, zwłaszcza rozwój systemu „podwodnego akustycznego GPS-u” oraz rozwiązań do szybkiej transmisji danych.
- W niedalekiej przyszłości, oprócz standardowych pływaków CTD, wzrośnie liczba pływaków biogeochemicznych (BGC).
- Mooringi podpowierzchniowe w rejonach arktycznych są jedynym źródłem długich serii czasowych pomiarów w rejonach pokrytych (stale lub sezonowo) lodem morskim.
- Kombinacja nowych technologii (stacjonarne mooringi, glidery prowadzące pomiary wzdłuż zadanych przekrojów i dryfujące floaty Argo) będzie w przyszłości istotnym komponentem optymalnego systemu pomiarowego Arktyki.



Dziękuję za uwagę



**Prezentacja powstała przy współudziale konsorcjum Argo-Polska dofinansowanego przez
Ministra Edukacji i Nauki na podstawie umowy nr 2022/WK/04**