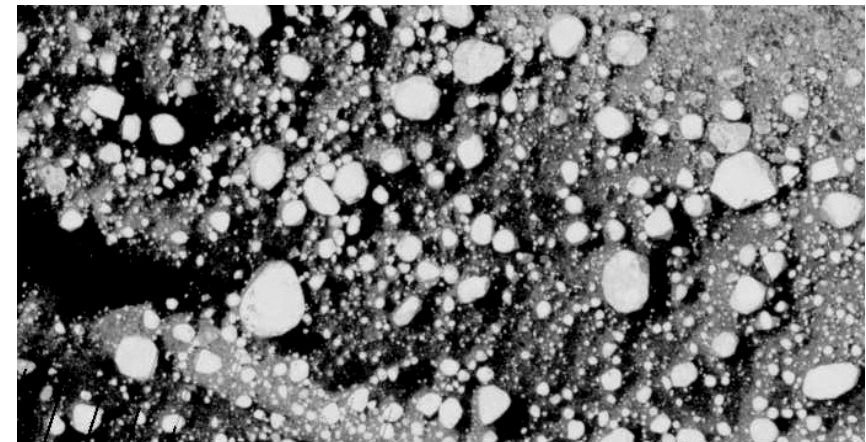




Dryf w Arktyce

– lód morski, drzewo, plastik, ...

Agnieszka Herman¹ & Jacek Urbański²

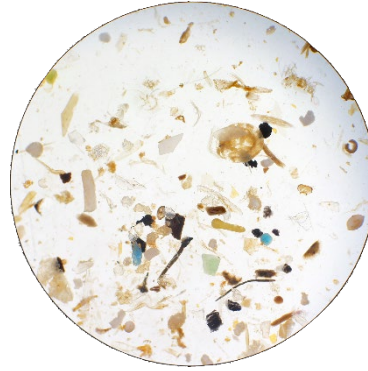
¹ Instytut Oceanologii PAN, agaherman@iopan.pl

² Uniwersytet Gdański, jacek.urbanski@ug.edu.pl

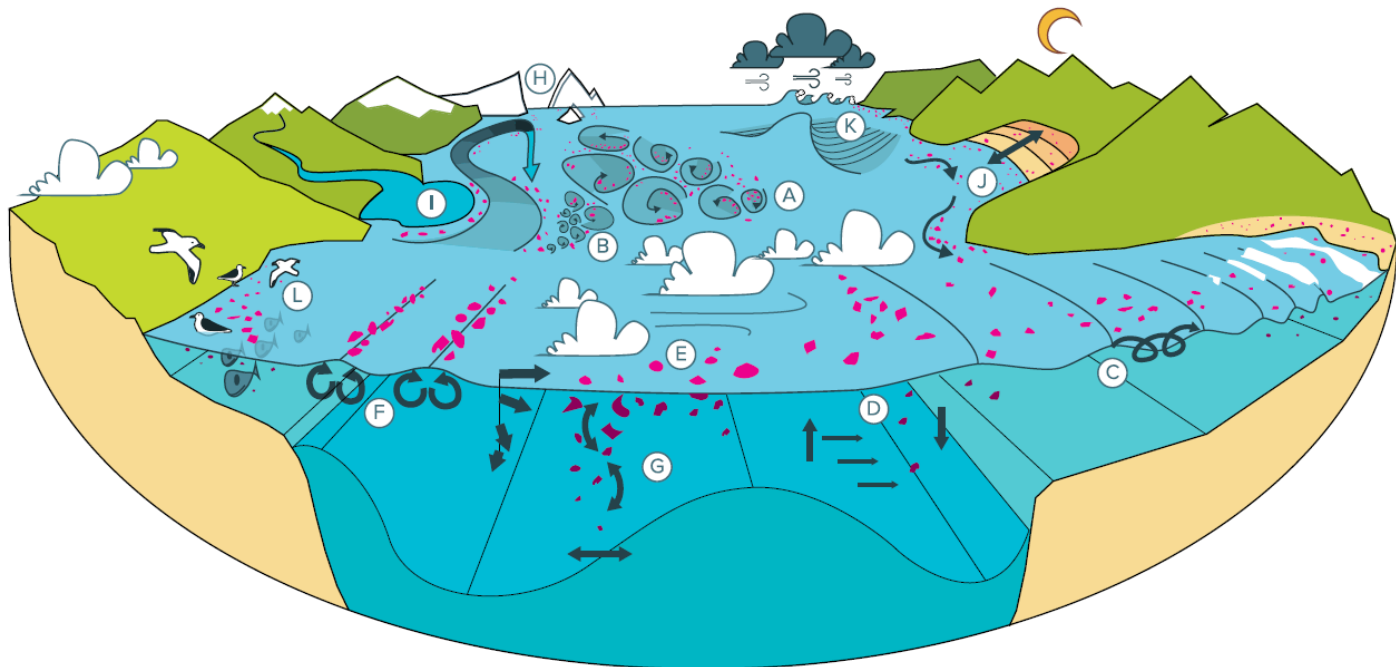
Polarne inspiracje - morza i klimat
39 Sympozjum Polarne, 18–19 maja 2023

Wstęp: materiał zawieszony w morzu i jego transport

- cząstki mineralne
- kryształy lodu, kry lodowe
- zanieczyszczenia (ropa, plastik, ...)
- rośliny pochodzenia morskiego i lądowego
- zwierzęta pochodzenia morskiego i lądowego
- ...



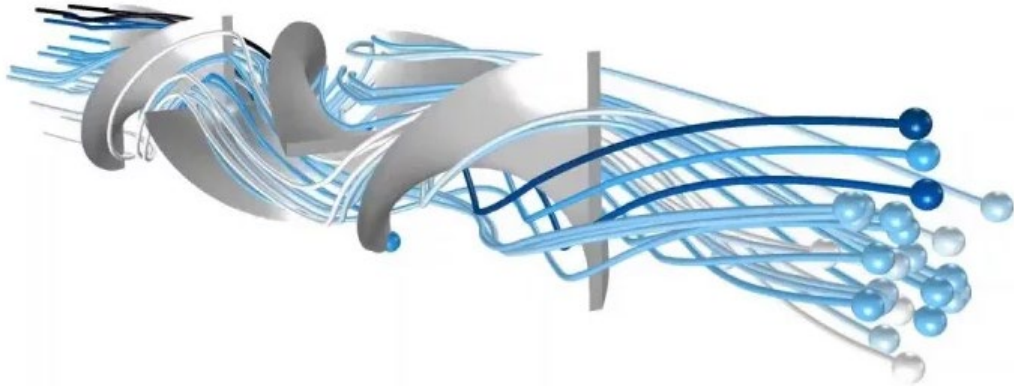
- transport „bezpośrednio” w toni wodnej
- *rafting*



- A Large-scale open ocean processes
- B Submesoscale open ocean processes
- C Open ocean Stokes drift
- D Internal tides
- E Direct wind transport (windage)
- F Langmuir circulation
- G Vertical mixing
- H Ice formation, melting and drift
- I River plumes and coastal fronts
- J Coastal currents, surface waves and beaching
- K Extreme events
- L *Transport by biology*

van Sebille et al., *Environ. Res. Lett.*, 2020

Modelowanie dryfu obiektów unoszących się w morzu



A. DOSTAWA MATERIAŁU

B. TRANSPORT

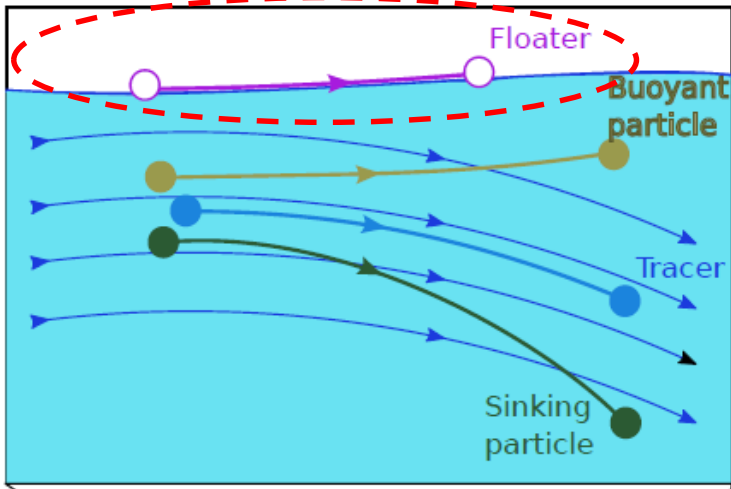
W płaszczyźnie poziomej:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + \mathbf{u}(t, z)\Delta t + \mathbf{R}_h(t)$$

W pionie:

$$z(t + \Delta t) = z(t) + [w(t, z) + w_t]\Delta t + R_v(t)$$

na podstawie znanych prędkości prądu



C. USUWANIE MATERIAŁU (*beaching*)

A. Dryf powierzchniowy w północnym Atlantyku i Arktyce

Analiza:

- prawdopodobieństwa transportu materiału z lokalizacji A do B
- zmienności sezonowej i długookresowej transportu
- czasu dryfu
- wpływu falowania na transport
- **zdarzeń ekstremalnych**

Elementy wspólne:

- dane wejściowe
- rodzaj dryfterów (powierzchniowe)
- metoda
- obszar ($B \subset A$)

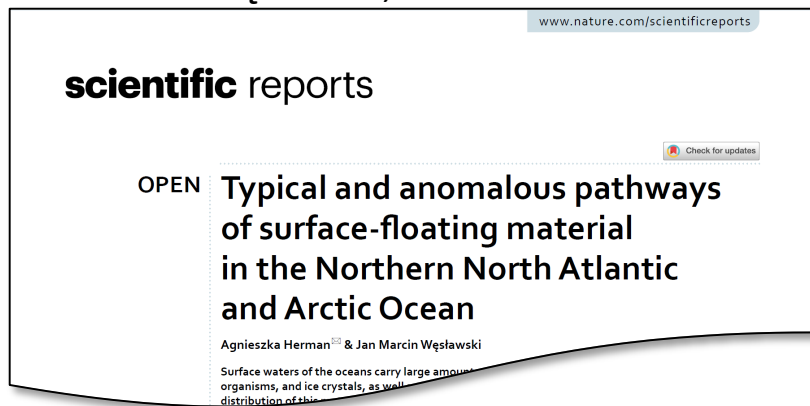
B. Dryf drewna z rzek syberyjskich

Analiza:

- ilości drewna docierającego do wybrzeży Svalbardu
- tras i czasu trwania dryfu
- procesu depozycji na brzegu

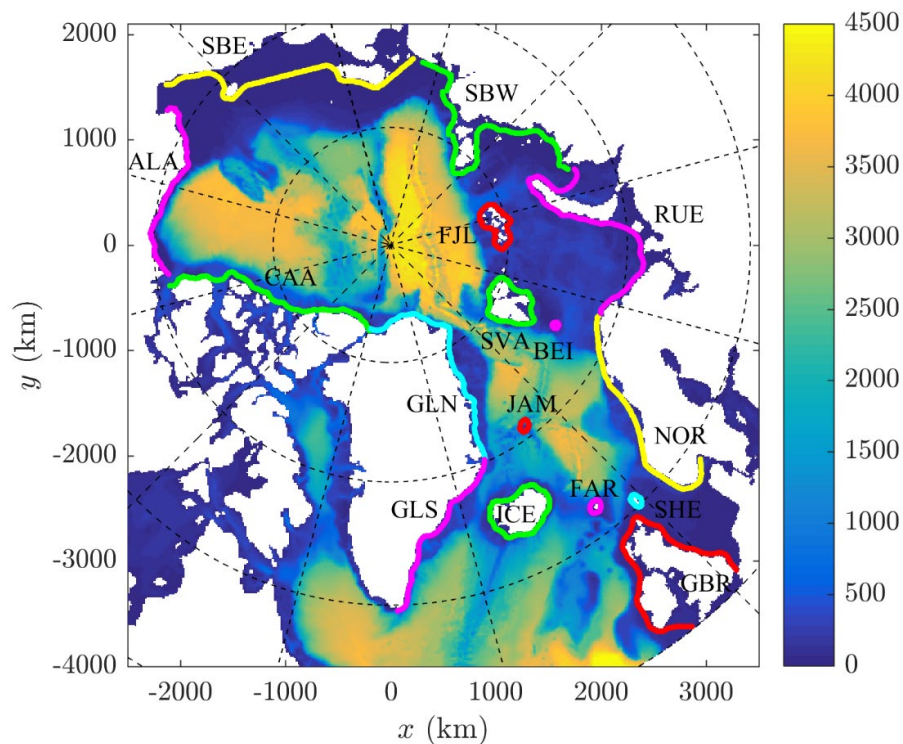
Wybrane zagadnienia związane z dryfem powierzchniowym w północnym Atlantyku i Arktyce

Herman & Węśławski, 2022



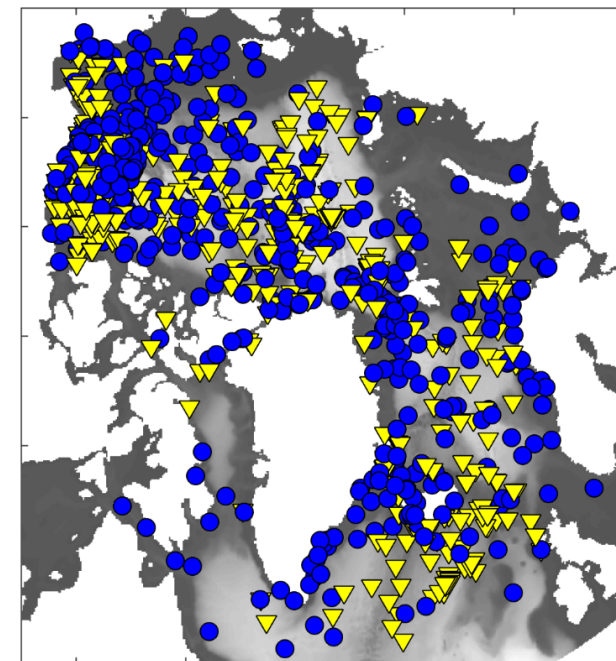
- 16 rejonów
- $160 \cdot 10^6$ trajektorii powierzchniowych
- okres 1993–2020

- na podstawie:
[Arctic Ocean Physics Reanalysis \(\$u_c, u_i\$ \)](#)
oraz
[Arctic Ocean Wave Hindcast \(\$u_s\$ \)](#)
(Norwegian Meteorological Institute,
udostępniane przez Copernicus Marine Service)



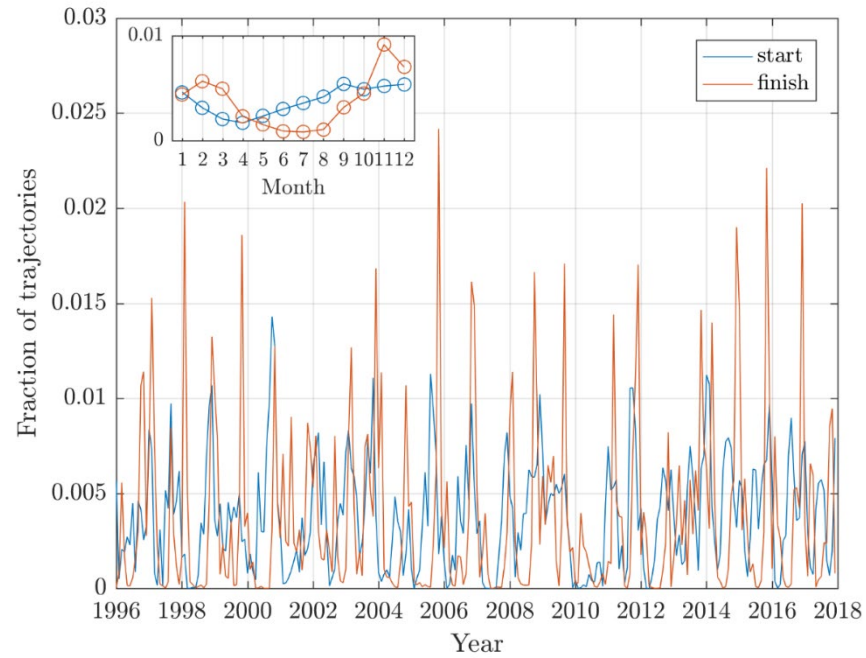
Walidacja:

- 387 tras boi IABP
- okres 2014–2020

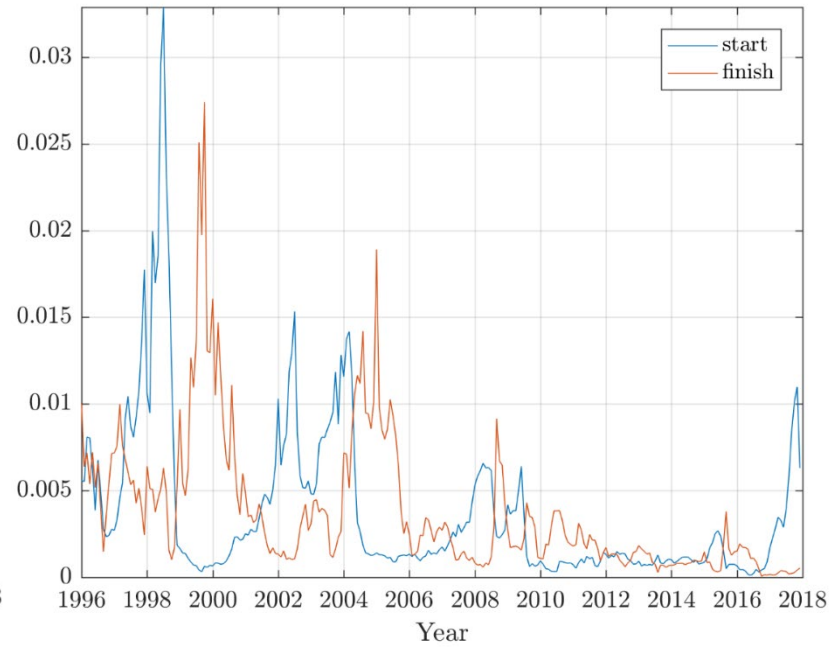


A.1 Zmienność czasowa transportu – przykłady

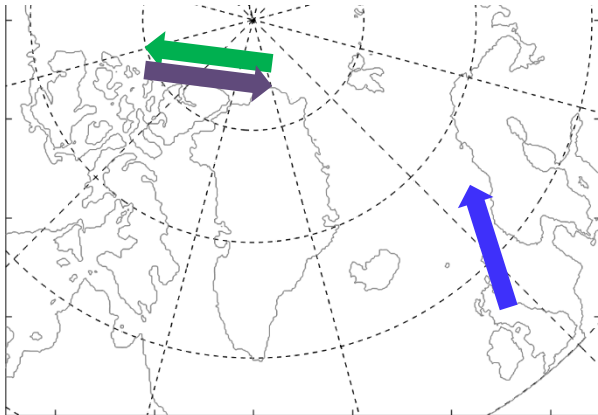
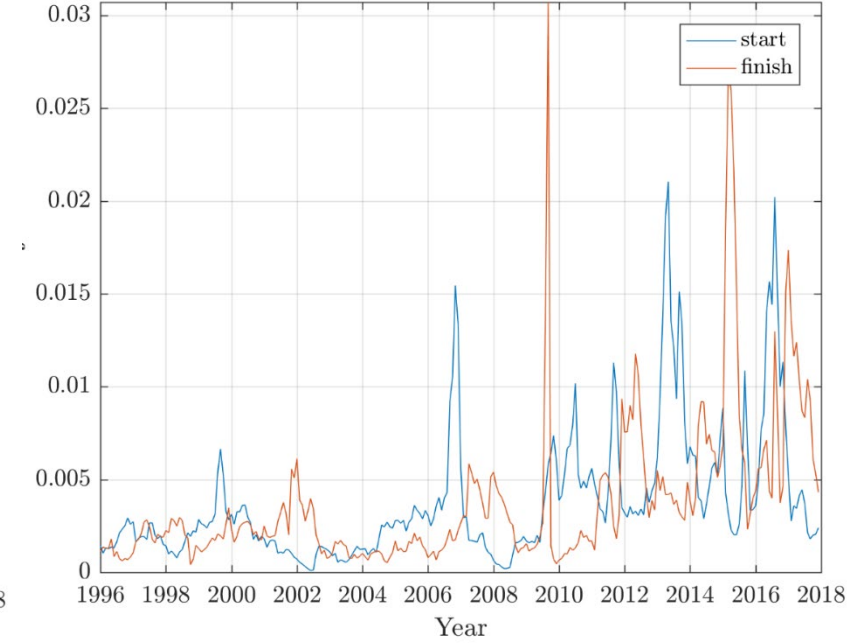
GBR → NOR



GLN → CAA

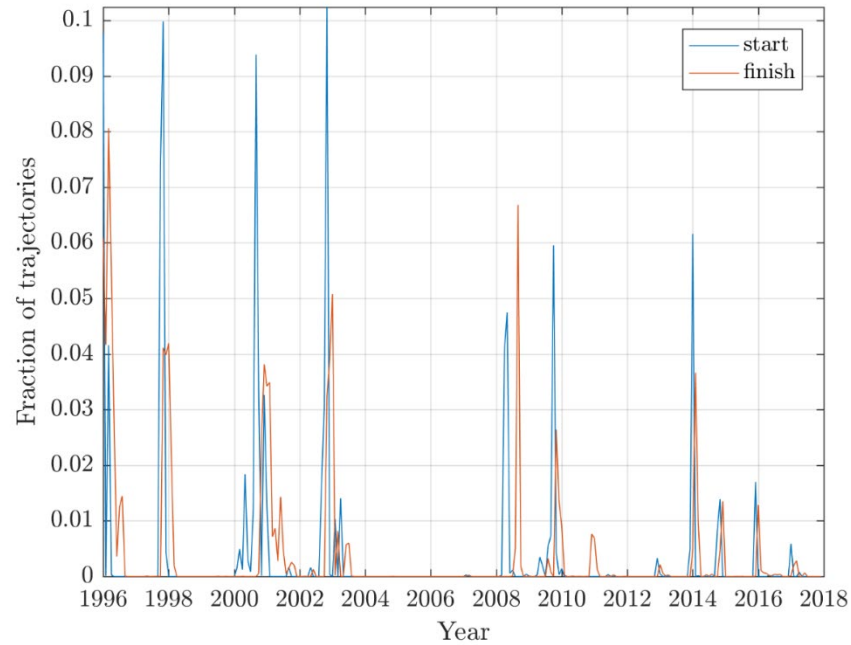


CAA → GLN

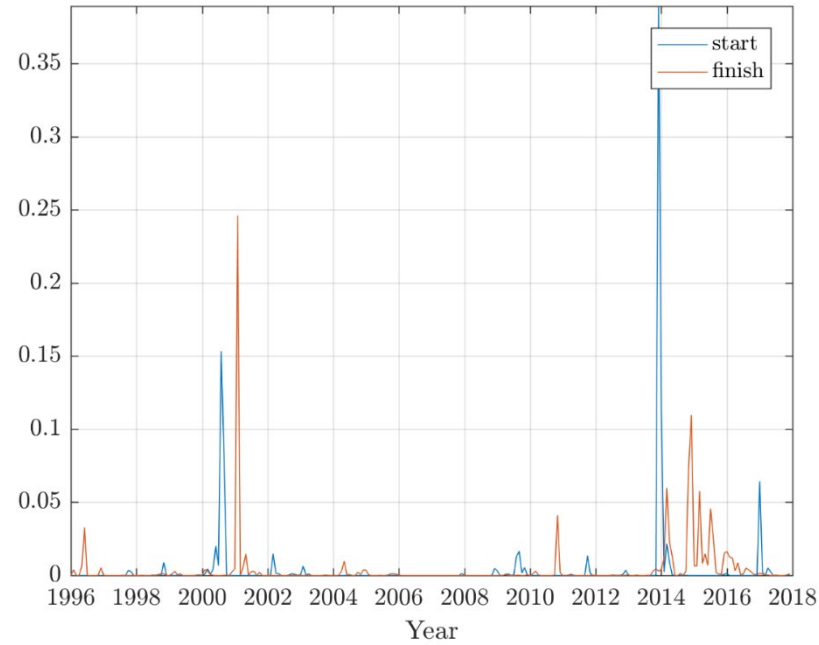


A.2 Anomalie transportu – przykłady

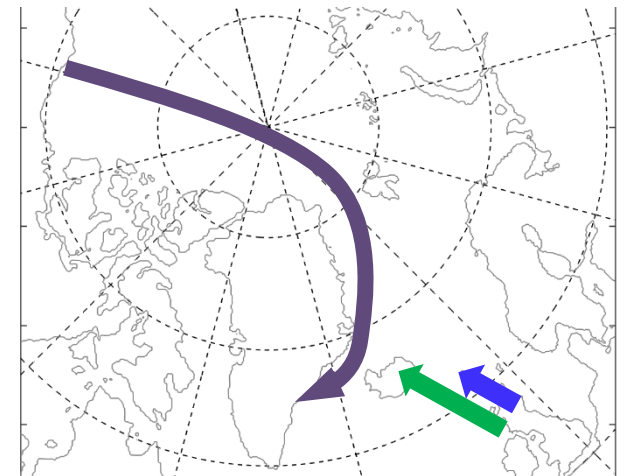
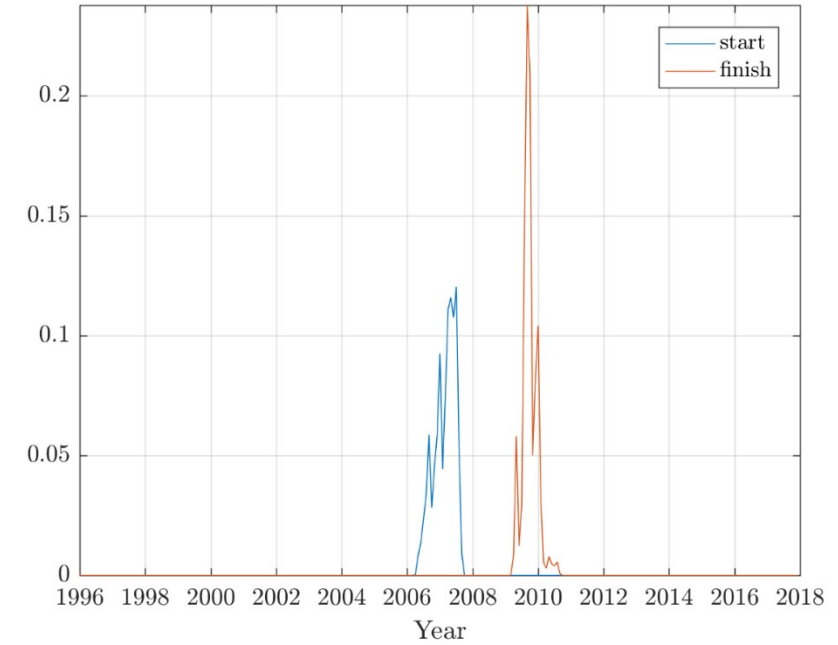
GBR → FAR



GBR → ICE

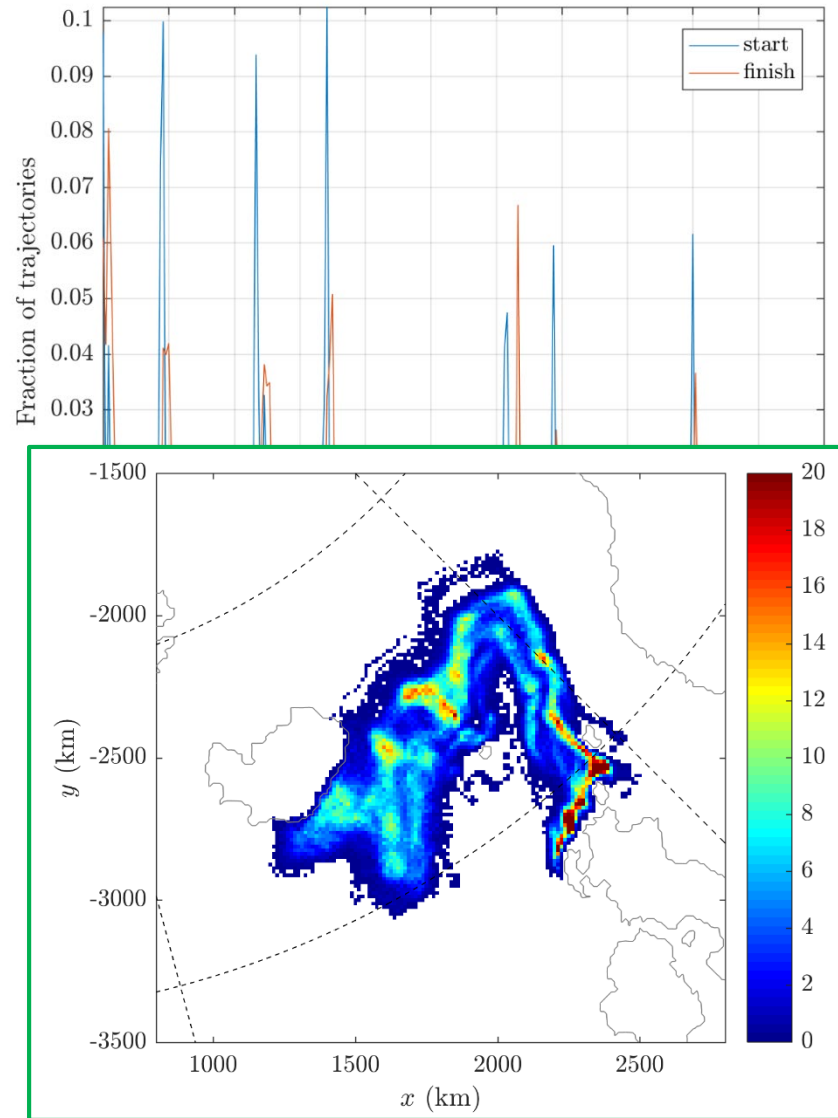


ALA → GLS

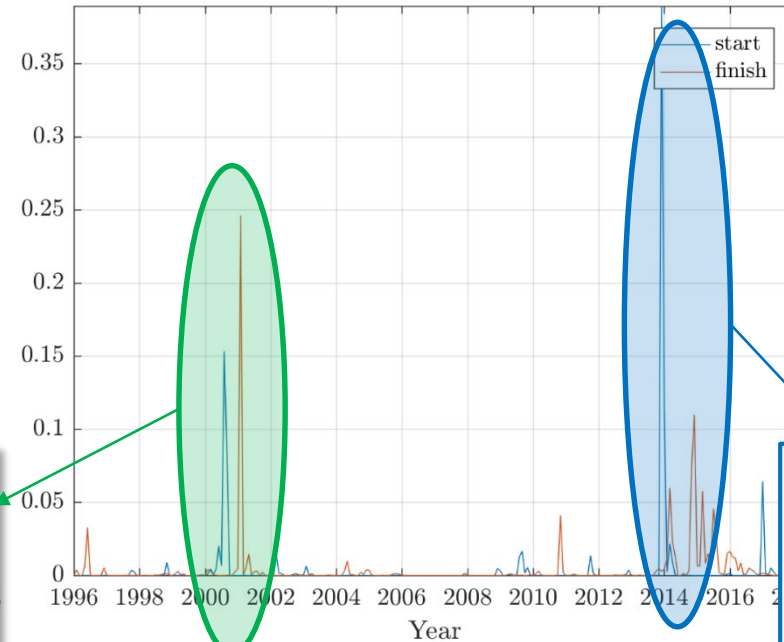


A.2 Anomalie transportu – przykłady

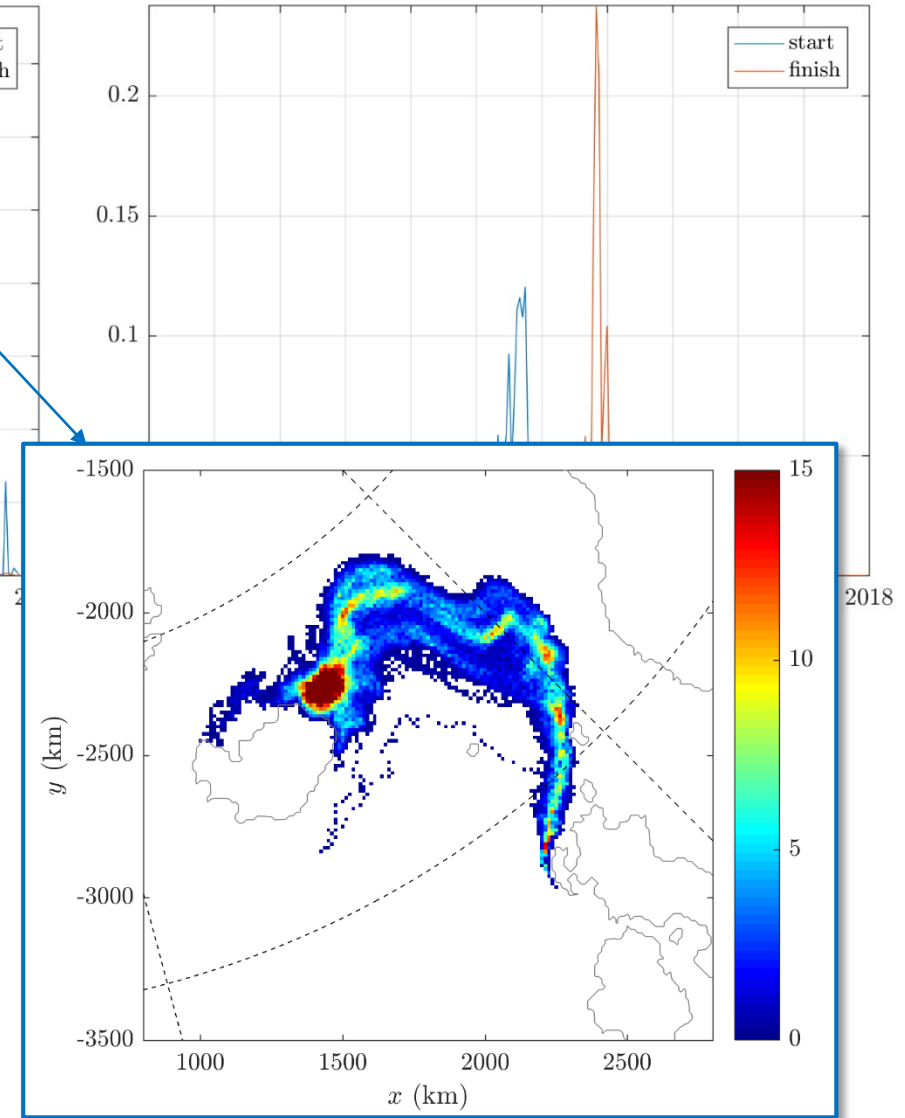
GBR → FAR



GBR → ICE

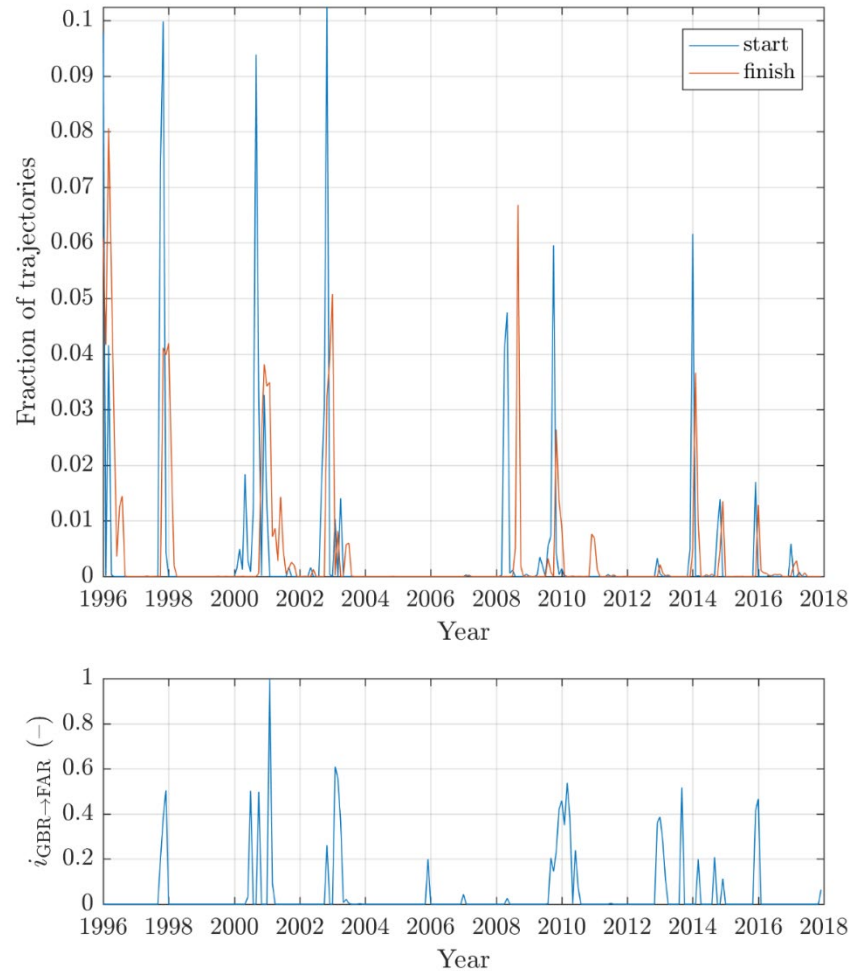


ALA → GLS

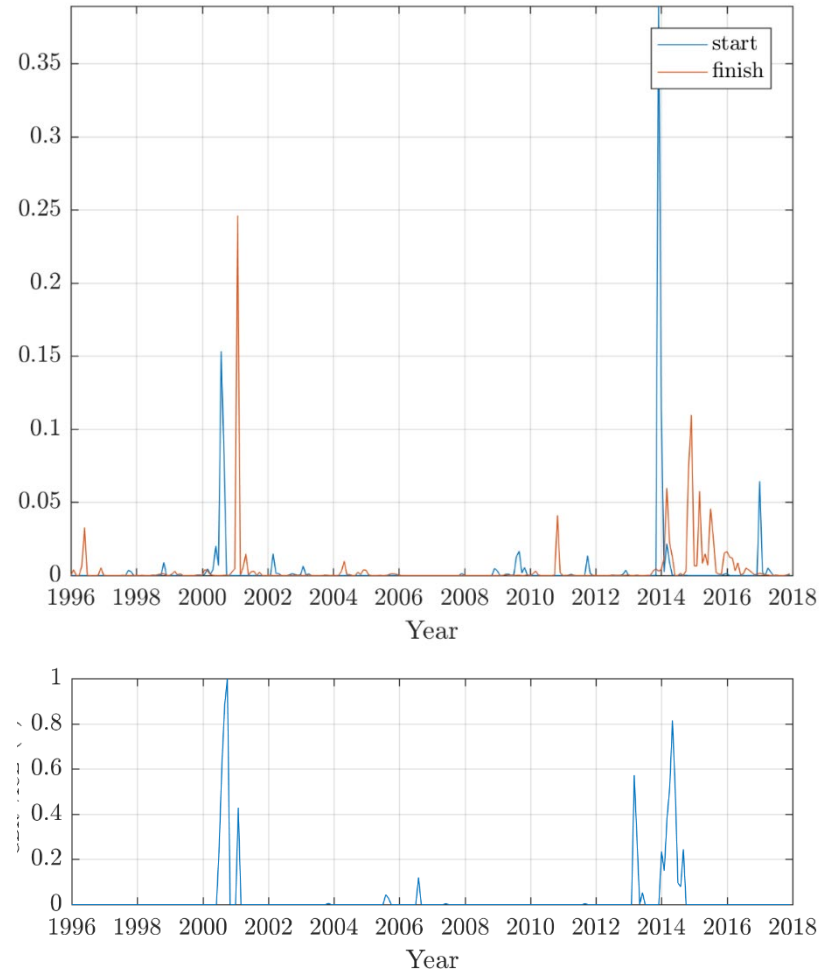


A.3 Anomalie transportu – związki z cyrkulacją atmosferyczną

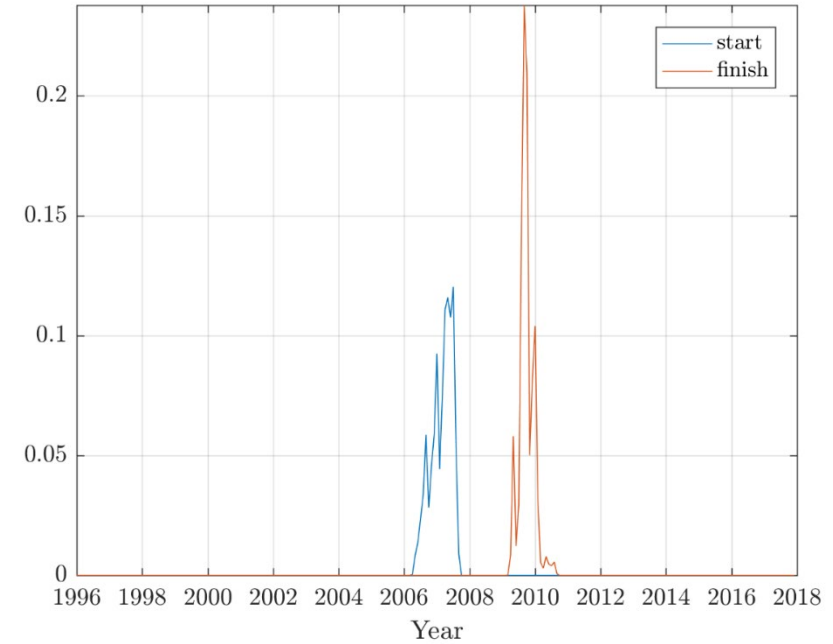
GBR → FAR



GBR → ICE



ALA → GLS



*dynamika pokrywy lodowej,
inne czynniki...*

NAO niskie SCAND +
EA + EAWR –

$$i_{\text{GBR} \rightarrow \text{ICE}}(t) = \max\{i_{\text{EA}}(t), 0\} \max\{i_{\text{SCAND}}(t), 0\} |\min\{i_{\text{EAWR}}(t), 0\}| \alpha_{\text{NAO}}(t),$$

$$i_{\text{GBR} \rightarrow \text{FAR}}(t) = \max\{i_{\text{EA}}(t), 0\} \max\{i_{\text{SCAND}}(t), 0\} |\min\{\nabla i_{\text{EAWR}}(t), 0\}|,$$

Wnioski – część A

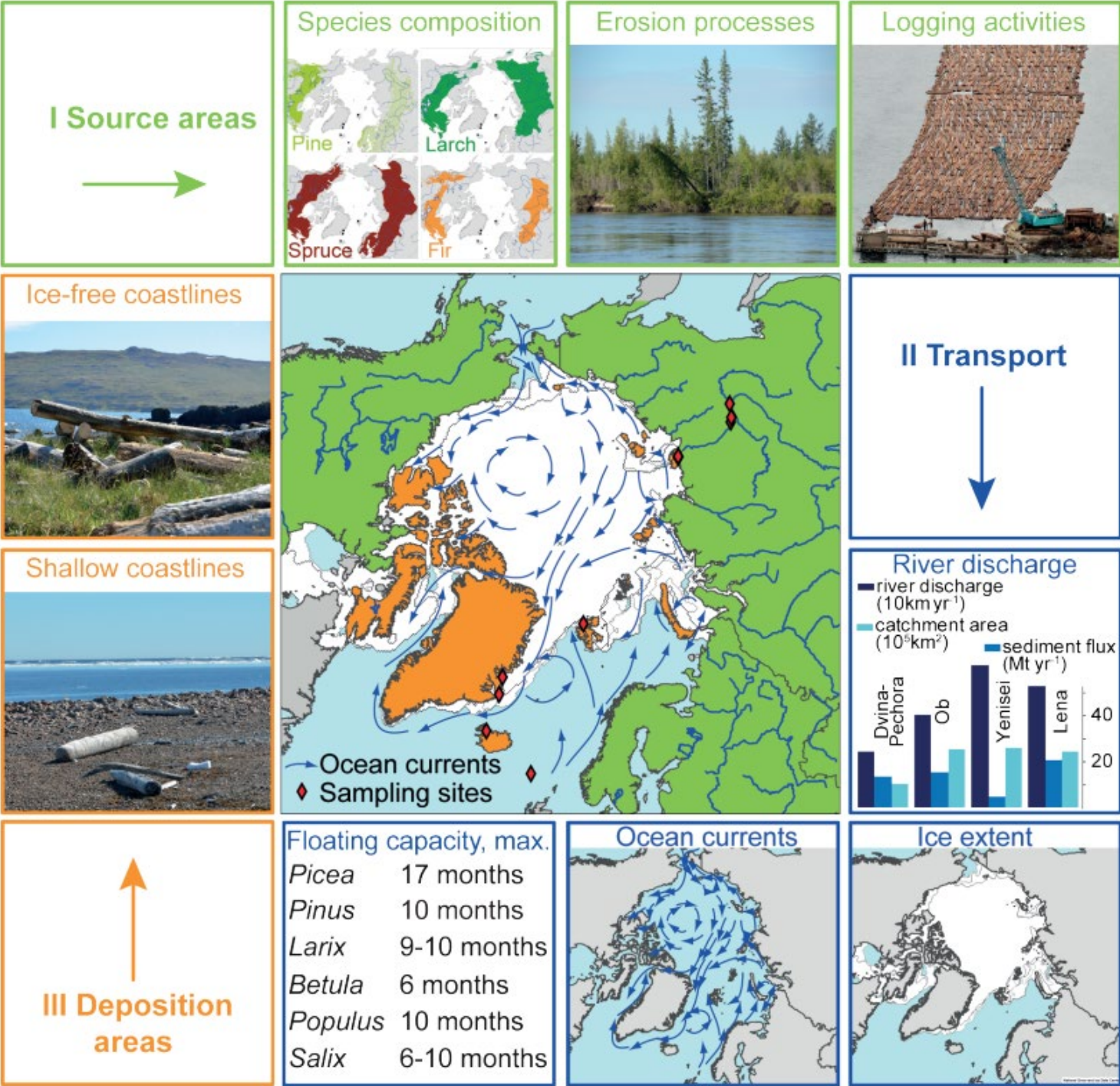
1. Dryf Stokesa:

- wnosi istotny wkład do całkowitej prędkości dryfu na powierzchni na obszarach wolnych od lodu
- charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością kierunkową
- odgrywa istotną rolę w transporcie przybrzeżnym i lądowaniu materiału na brzegu
- poprawia zgodność modelowanych trajektorii z obserwacjami

2. Nietypowe trajektorie transportu:

- **na północnym Atlantyku** mogą być przewidywane na podstawie anomalii cyrkulacji atmosferycznej
- wymagają specyficznej kombinacji wielu indeksów cyrkulacji
- **w Arktyce** zależą również od dynamiki pokrywy lodowej i oceanu; dłuższe skale czasowe

Schematic of the Arctic driftwood system





Pytania :

Jak dużo drewna dryftowego
z Peczory, Obu i Jeniseju
dociera do brzegów
Svalbardu ?????

W jaki sposób się tam dostaje
?????? i co się z nim dzieje
po drodze ?????

Driftwood transport model (DWTM) podobny do



Dalaiden, Q., Goose, H., Lecomte, O., Docquier, D., 2018. A model to interpret driftwood transport in the Arctic. Quat. Sci. Rev. 191, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.05.004>.

Podstawowe równanie

$$\mathbf{v}_i(t) = \frac{d\mathbf{x}_i(t)}{dt}$$

Dyskretyzowane do postaci

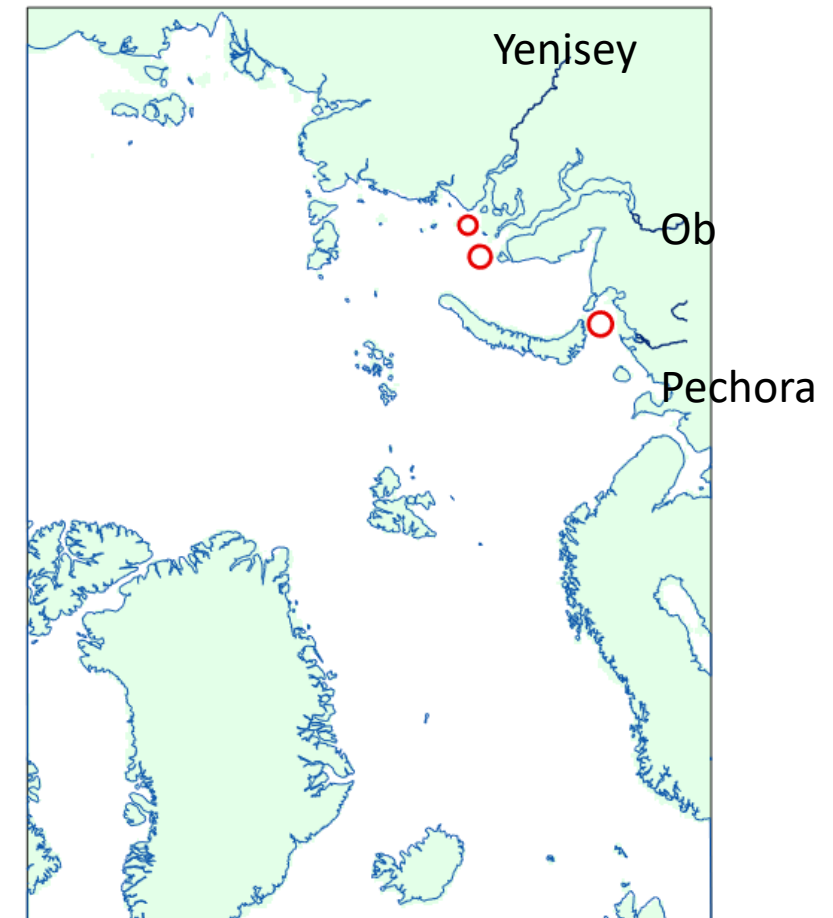
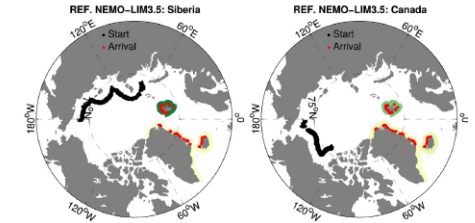
$$\mathbf{x}_i(t + 1) = \mathbf{x}_i + \mathbf{v}_i(t) \times \Delta t$$

Δt 1 dzień

$\mathbf{v}_i(t)$ Średnia dobową prędkość lodu, lub wody przy braku lodu

$i = 2775$ DW, co 5 dni losowo od maja do września 1991-2016
ujściowe obszary (7 – 13 tys. km²) Pechora, Ob, Yenisey

floating capacity = 520 dni
(około 17 miesięcy)



Dataset

Product identifier ARCTIC_MULTIYEAR_PHY_002_003
Product name Arctic Ocean Physics Reanalysis
Dataset *Please choose one of the datasets in this product:*
cmems_mod_arc_phy_my_topaz4_P1D-m ▼

Variables*

Add all

Clear all

- ☐ Sea water potential temperature at sea floor *bottomT* [°C]
- ☐ Ocean mixed layer thickness defined by sigma theta *mloitst* [m]
- ☐ Sea floor depth below sea level *model_depth* [m]
- ☒ Sea ice area fraction *siconc*
- ☐ Surface snow thickness *sisnthick* [m]
- ☐ Sea ice thickness *sithick* [m]
- ☐ Sea water salinity *so* [10^{-3}]
- ☐ Ocean barotropic streamfunction *stfbaro* [m^3/s]
- ☐ Sea water potential temperature *thetao* [°C]
- ☒ Sea water x velocity *vx0* [m/s]
- ☒ Sea ice x velocity *vxsi* [m/s]
- ☒ Sea water y velocity *vyo* [m/s]
- ☒ Sea ice y velocity *vysi* [m/s]
- ☐ Sea surface height above geoid *zos* [m]

– Dimensions: (time: 11323, depth: 1, y: 399, x: 300)

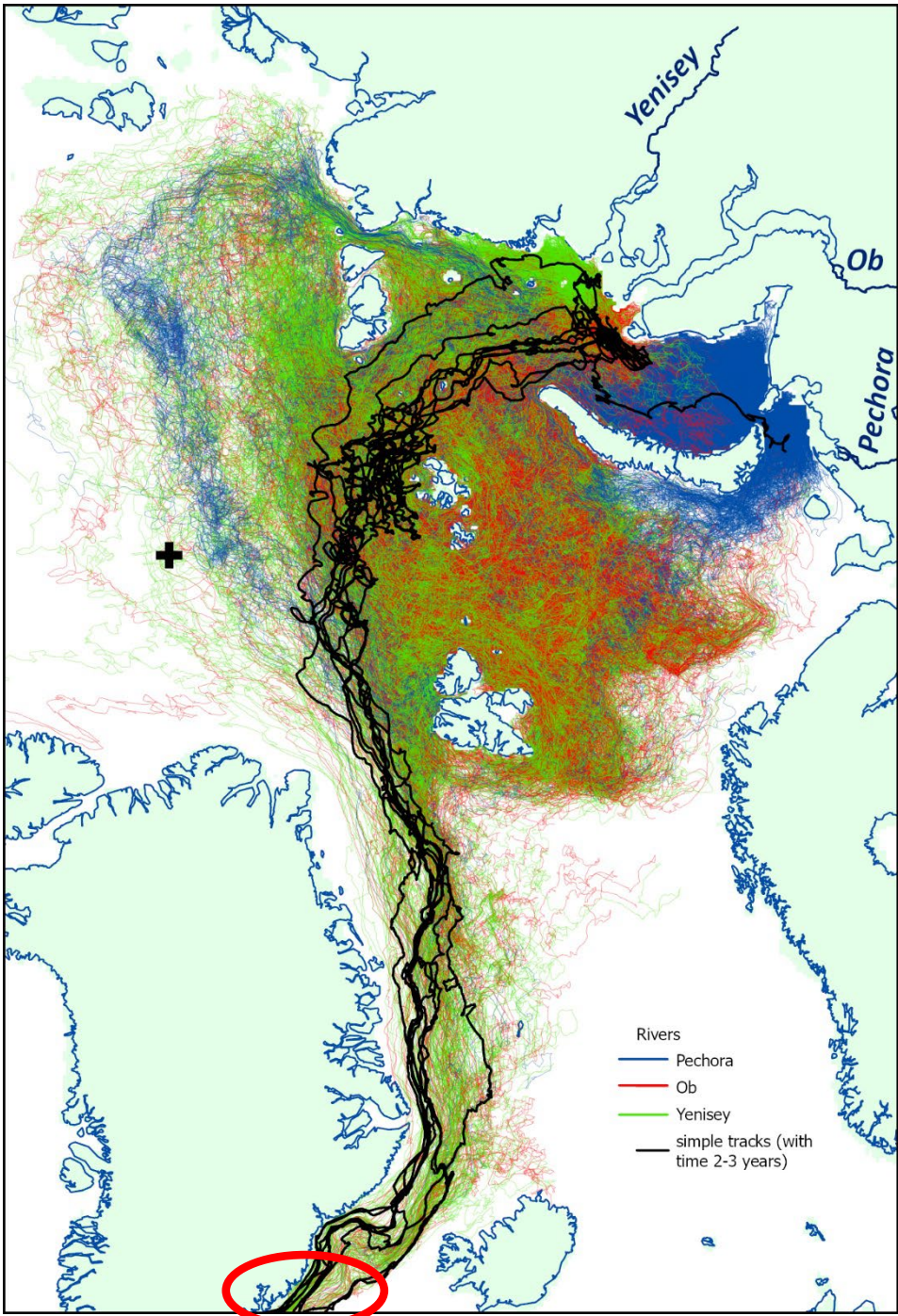
▼ Coordinates:

depth	(depth)	float32	0.0		
latitude	(y, x)	float32	...		
x	(x)	float32	-9.125 -9.0 -8.875 ... 28.12 28.25		
y	(y)	float32	-28.25 -28.12 -28.0 ... 21.38 21.5		
time	(time)	datetime64[ns]	1991-01-01 ... 2021-12-31		
longitude	(y, x)	float32	...		

▼ Data variables:

stereographic	(time)	int32	...		
siconc	(time, y, x)	float32	...		
vx0	(time, depth, y, x)	float32	...		
vyo	(time, depth, y, x)	float32	...		
vysi	(time, y, x)	float32	...		
vxsi	(time, y, x)	float32	...		

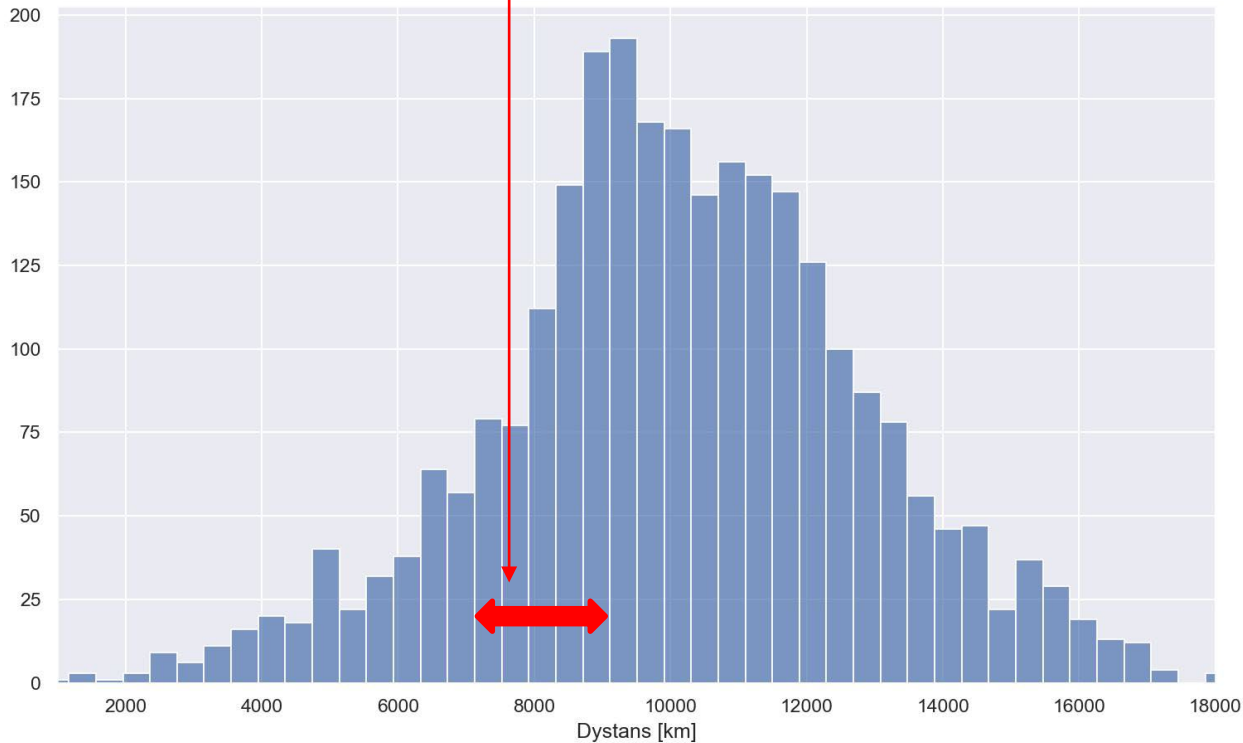
The current version of the TOPAZ system - TOPAZ4b - is nearly identical to the real-time forecast system run at MET Norway. It uses a recent version of the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) developed at University of Miami (Bleck 2002). HYCOM is coupled to a sea ice model; ice thermodynamics are described in Drange and Simonsen (1996) and the elastic-viscous-plastic rheology in Hunke and Dukowicz (1997). The model's native grid covers the Arctic and North Atlantic Oceans, has fairly homogeneous horizontal spacing (between 11 and 16 km). 50 hybrid layers are used in the vertical (z-isopycnal), more than the TOPAZ4 system (28 layers). TOPAZ4b uses the Deterministic version of the Ensemble Kalman filter (DEnKF; Sakov and Oke 2008) to assimilate remotely sensed as well as temperature and salinity profiles. The output is interpolated onto standard grids and depths. Daily values are provided at all depths. Data assimilation, including the 100-member ensemble production, is performed weekly.

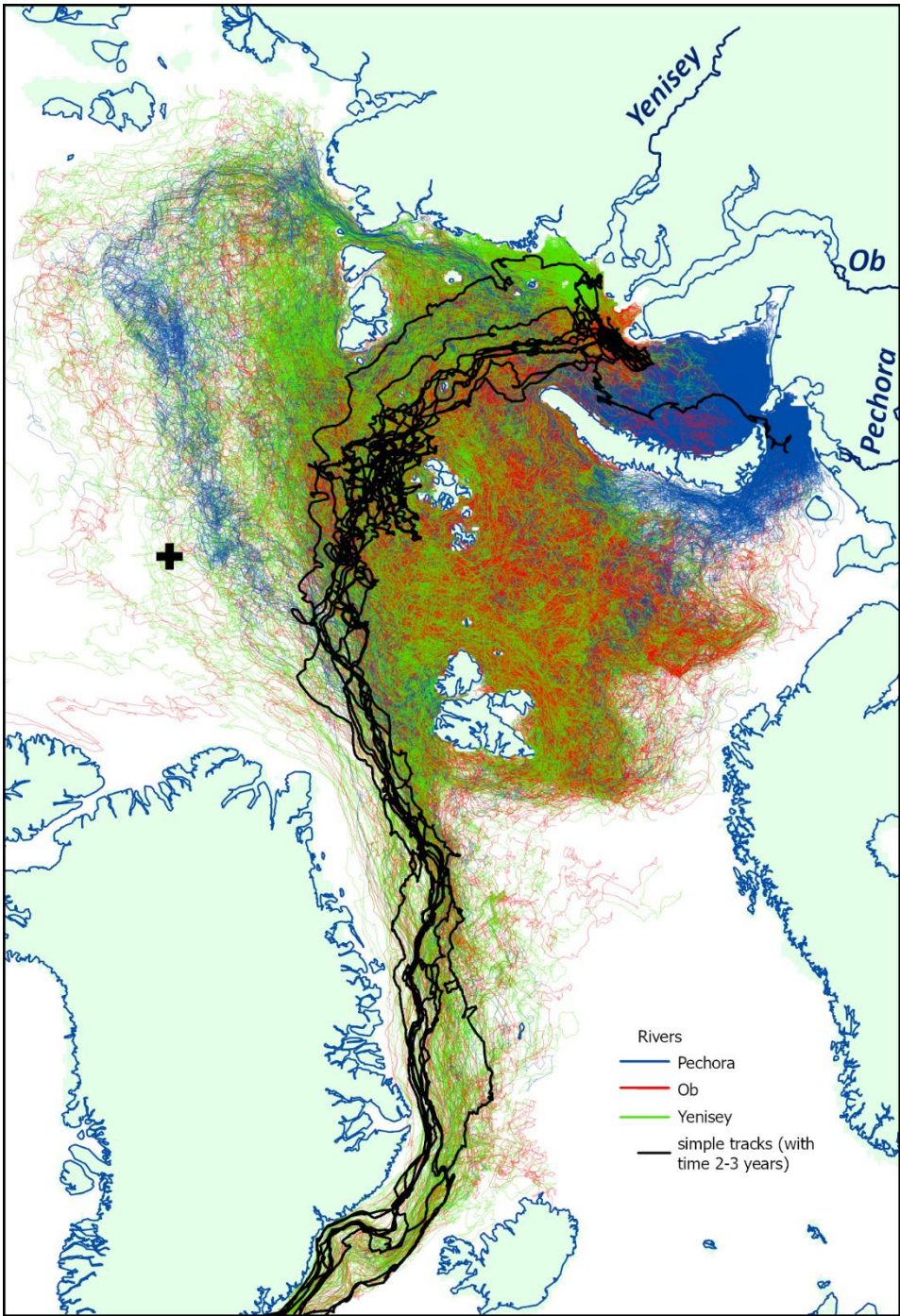


Bezpośrednie i najszybsze przejście całej trasy:

Odległość: 7500 – 9000 km

Czas: 26 – 32 miesiące

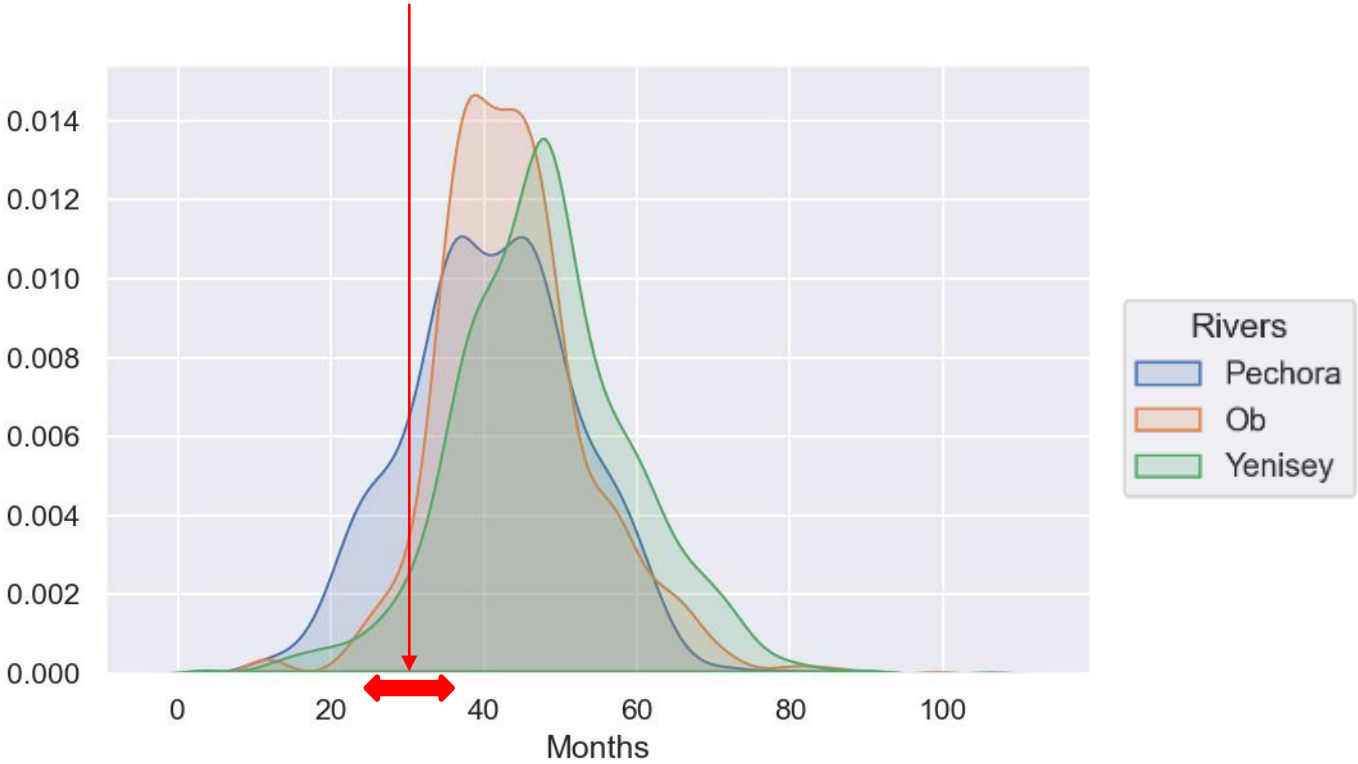


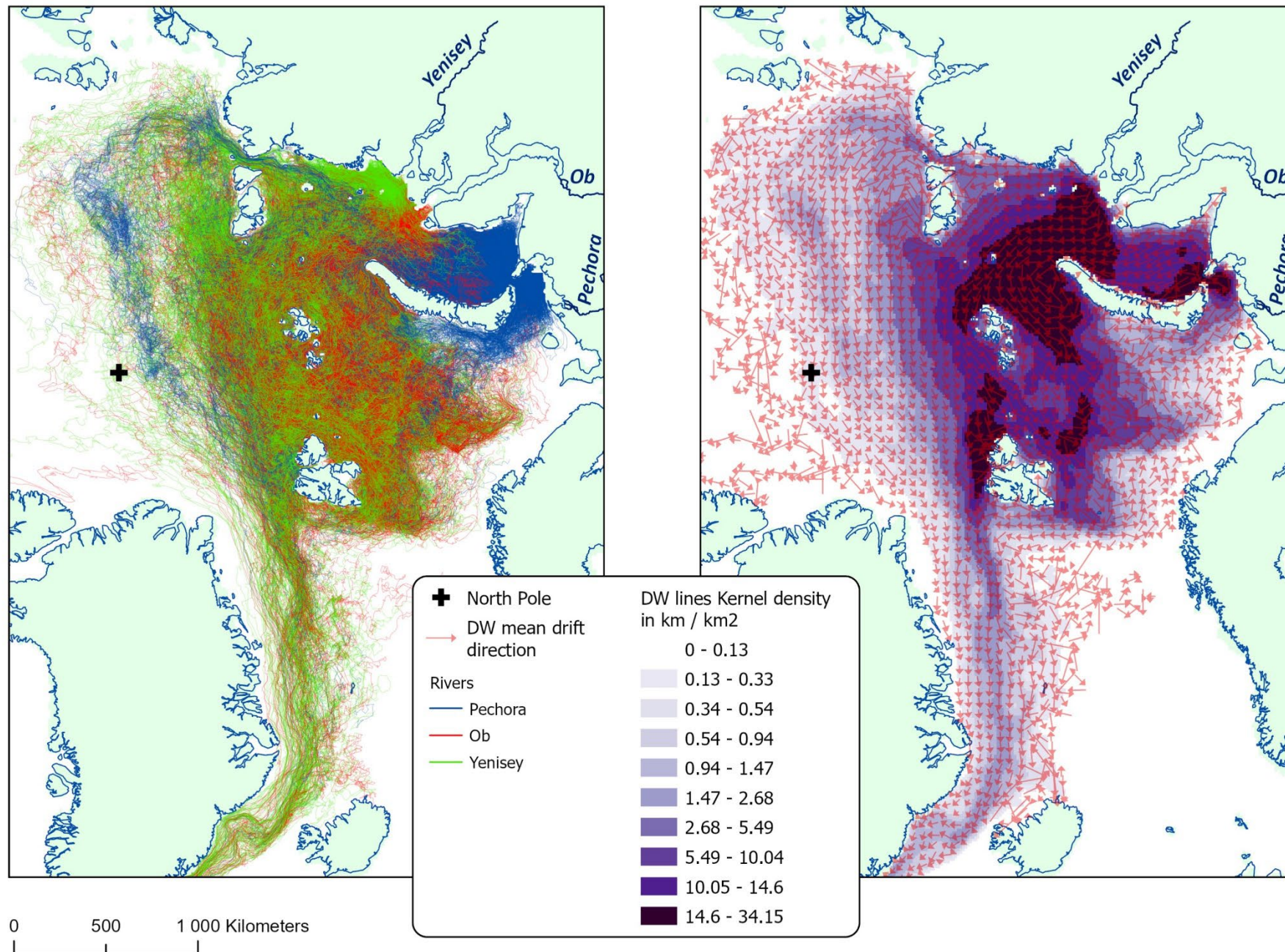


Bezpośrednie przejście całej trasy:

Odległość: 7500 – 9000 km

Czas: 26 – 32 miesiące

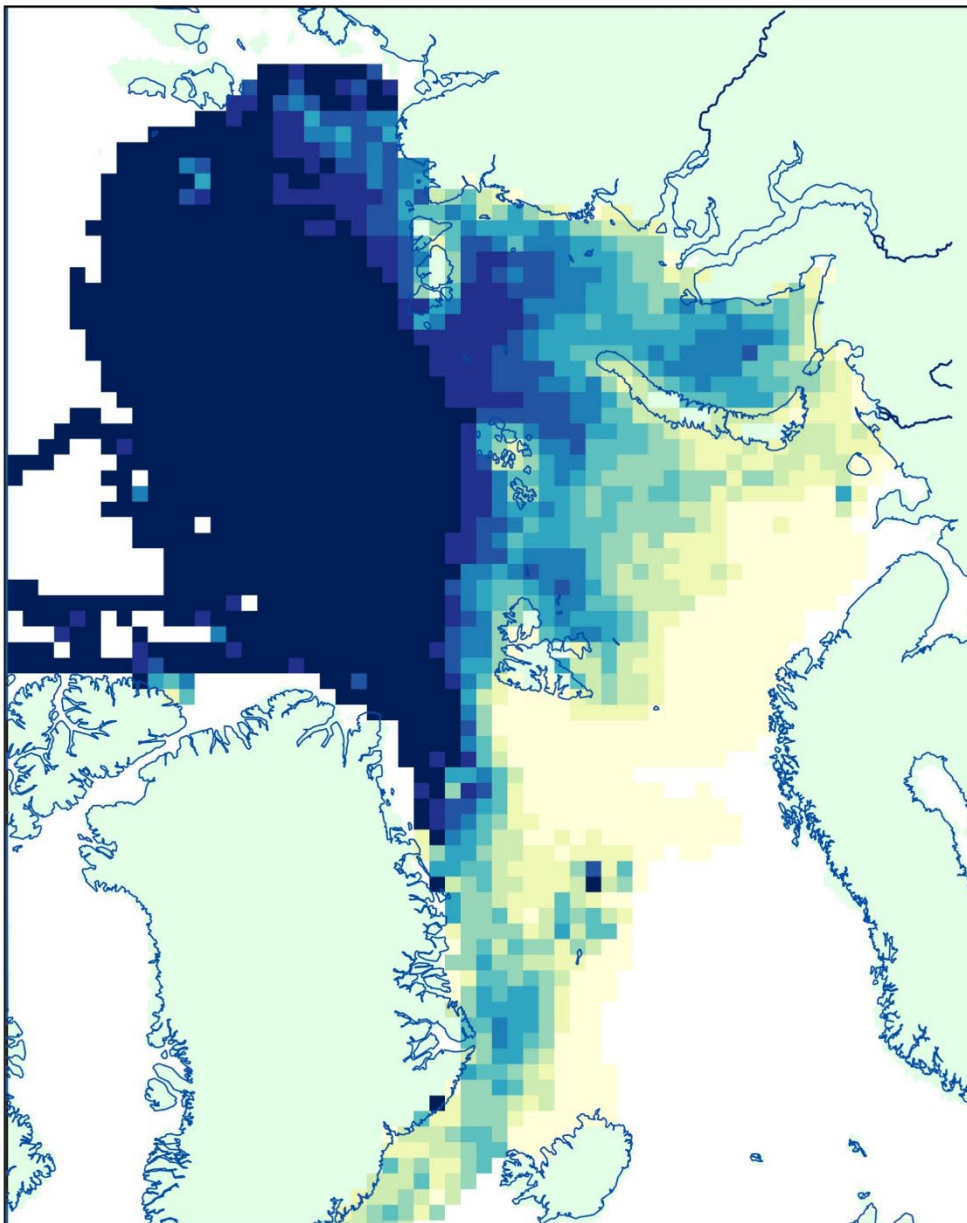




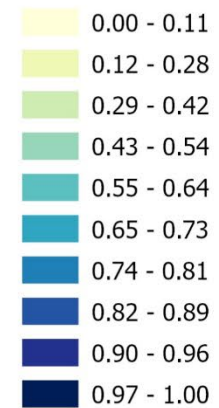
Średni kierunek dryfu

Gęstość linii dryfu w
km/km²

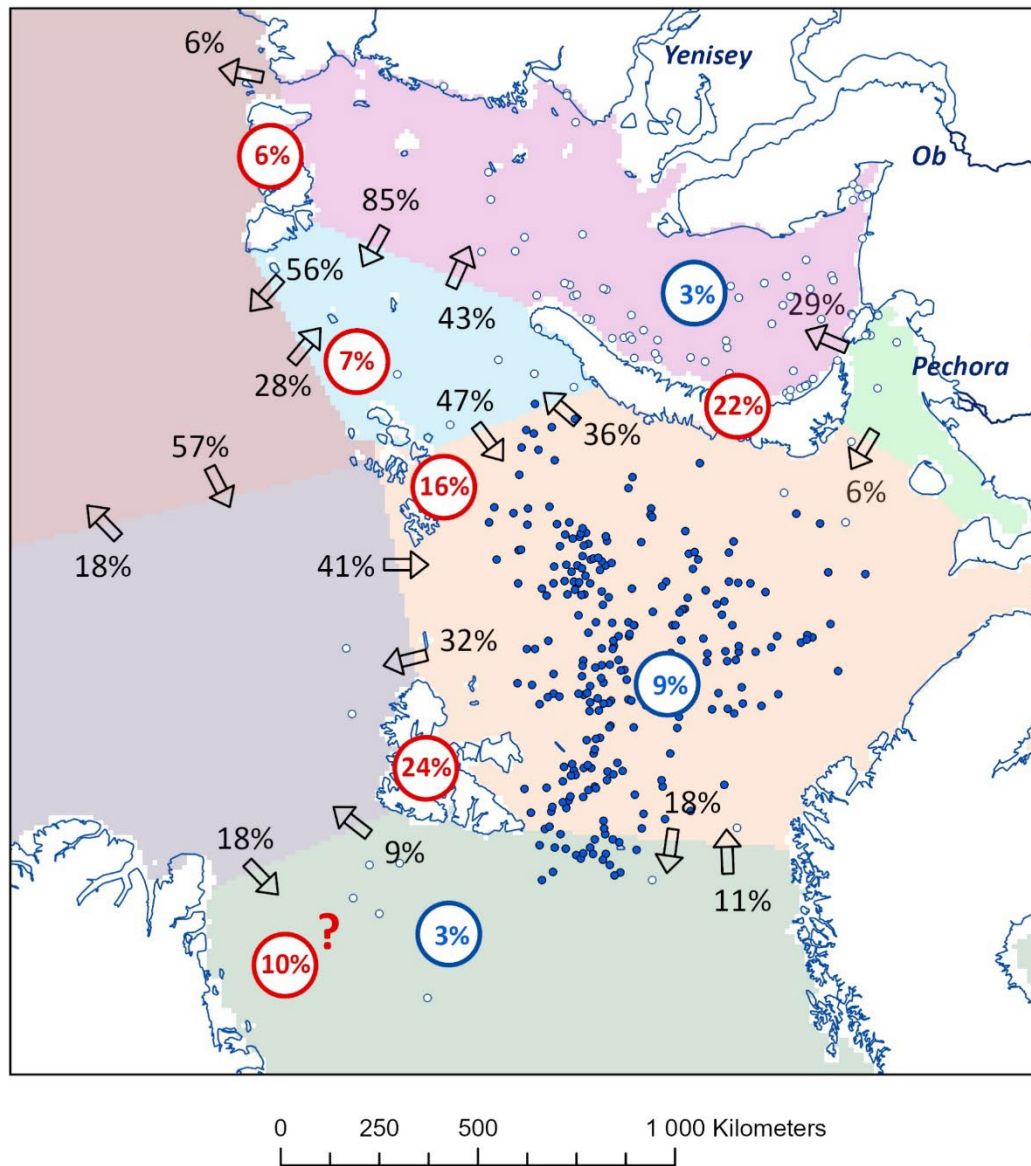
Prawdopodobieństwo dryfu
DW w lodzie.



DW ice drift
probability



0 500 1 000 Kilometers



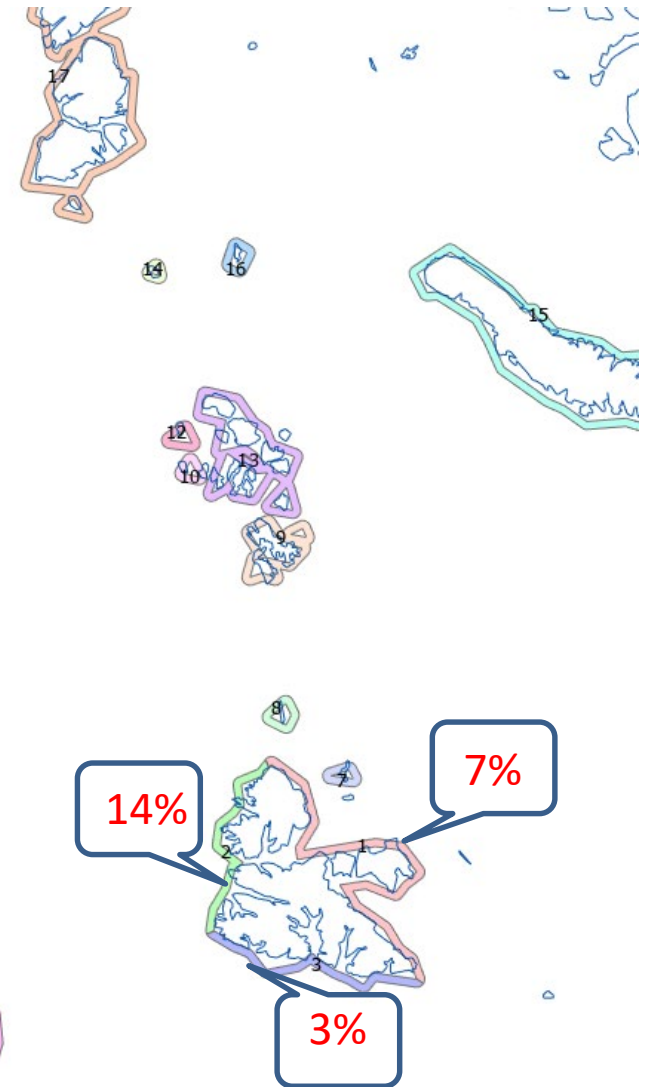
• sunk DW (cluster in Barents Sea)

○ sunk DW

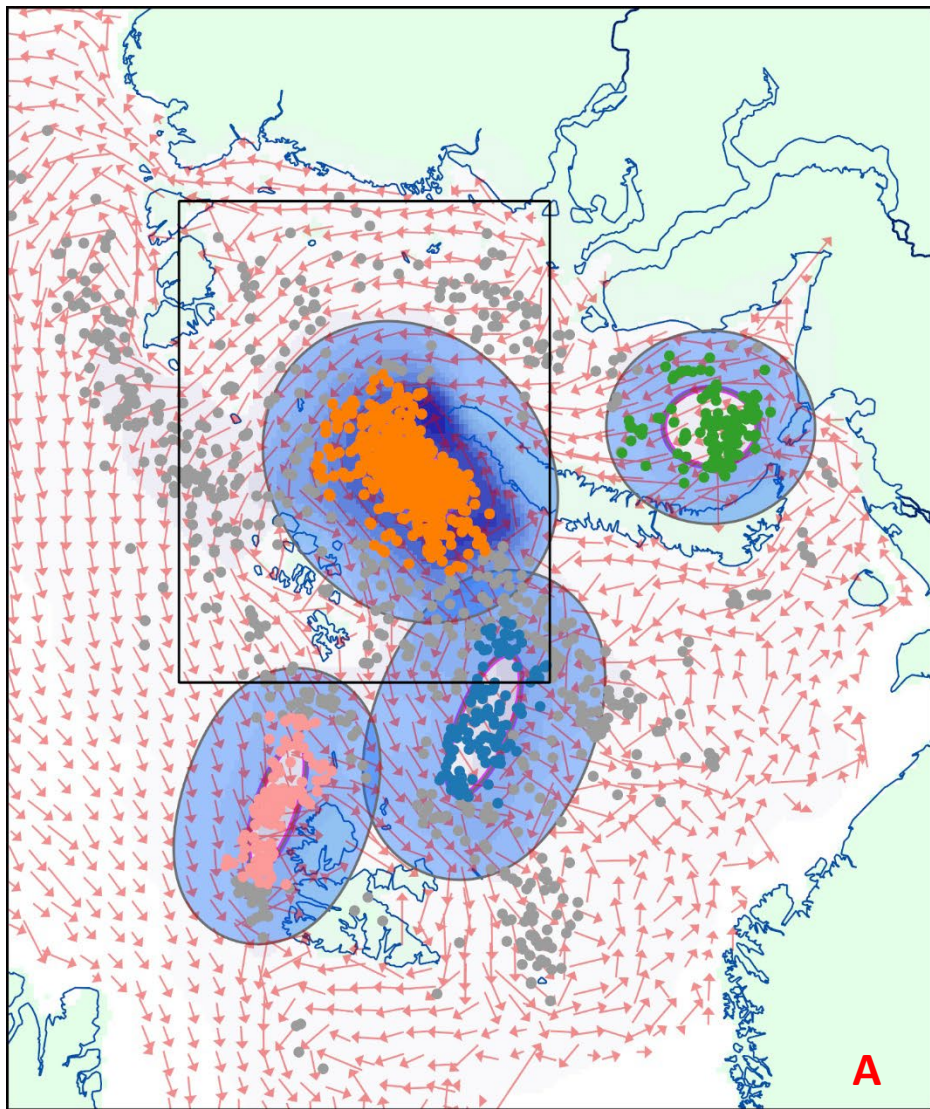
22% % DW at coast

9% % DW at bottom

56% % of total DW drift

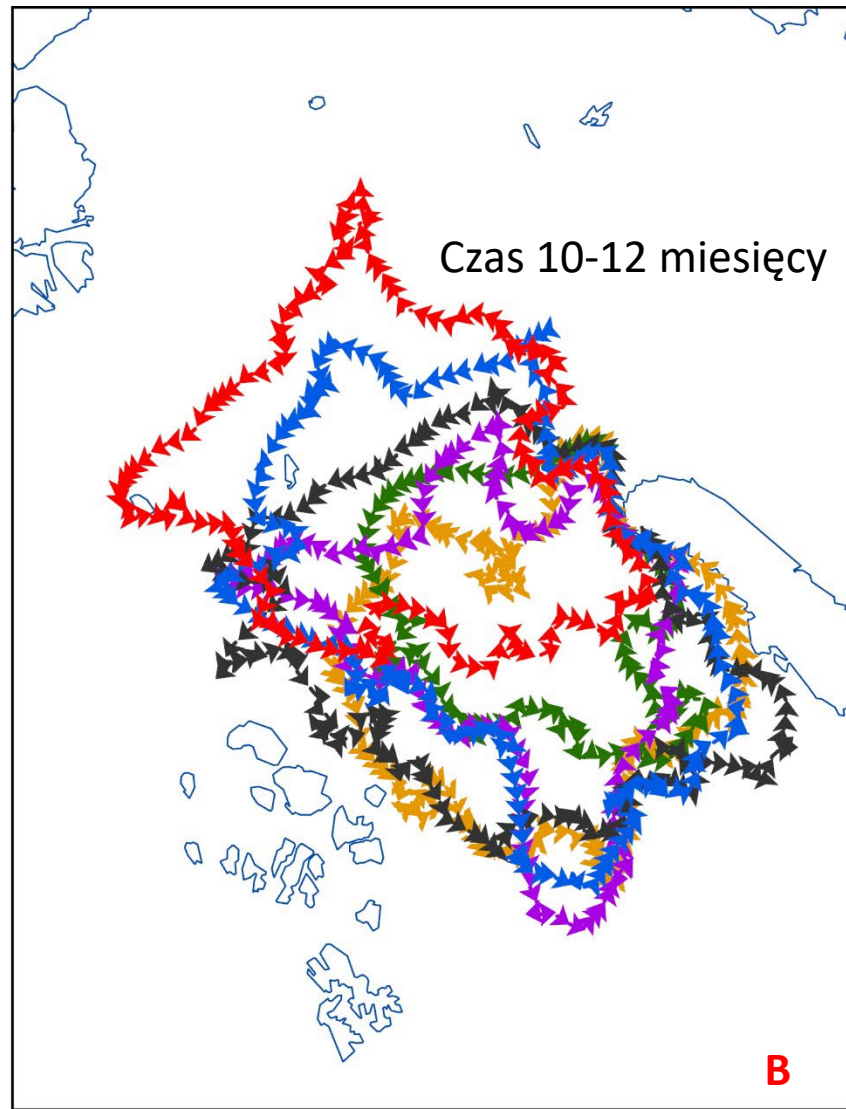


Ląd otoczony jest buforem 15km, rejestrowane jest wejście trajektorii do bufora



0 250 500 1 000 Kilometers

A



Czas 10-12 miesięcy

B

1. Struktury wirowe trajektorii



2. Wyznaczanie pola i centrum wiru



3. Klasteryzacja centrów i wyznaczenie średnich parametrów wirów

4. Wybrane trajektorie wiru

Depozycja DW na brzegu Svalbardu

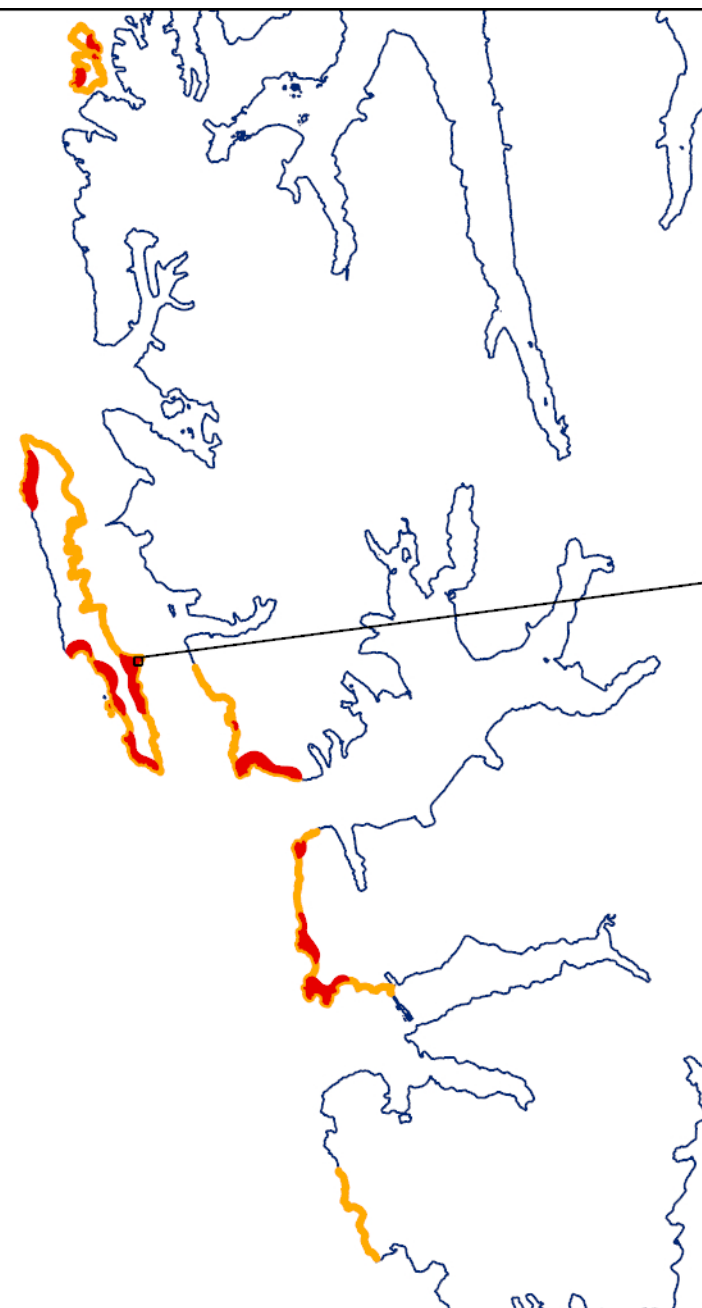


Nadzór i koncepcja: tomasz.jankowski@iopan.pl

Wyniki i koncepcja: tomasz.szot@awf.gda.pl

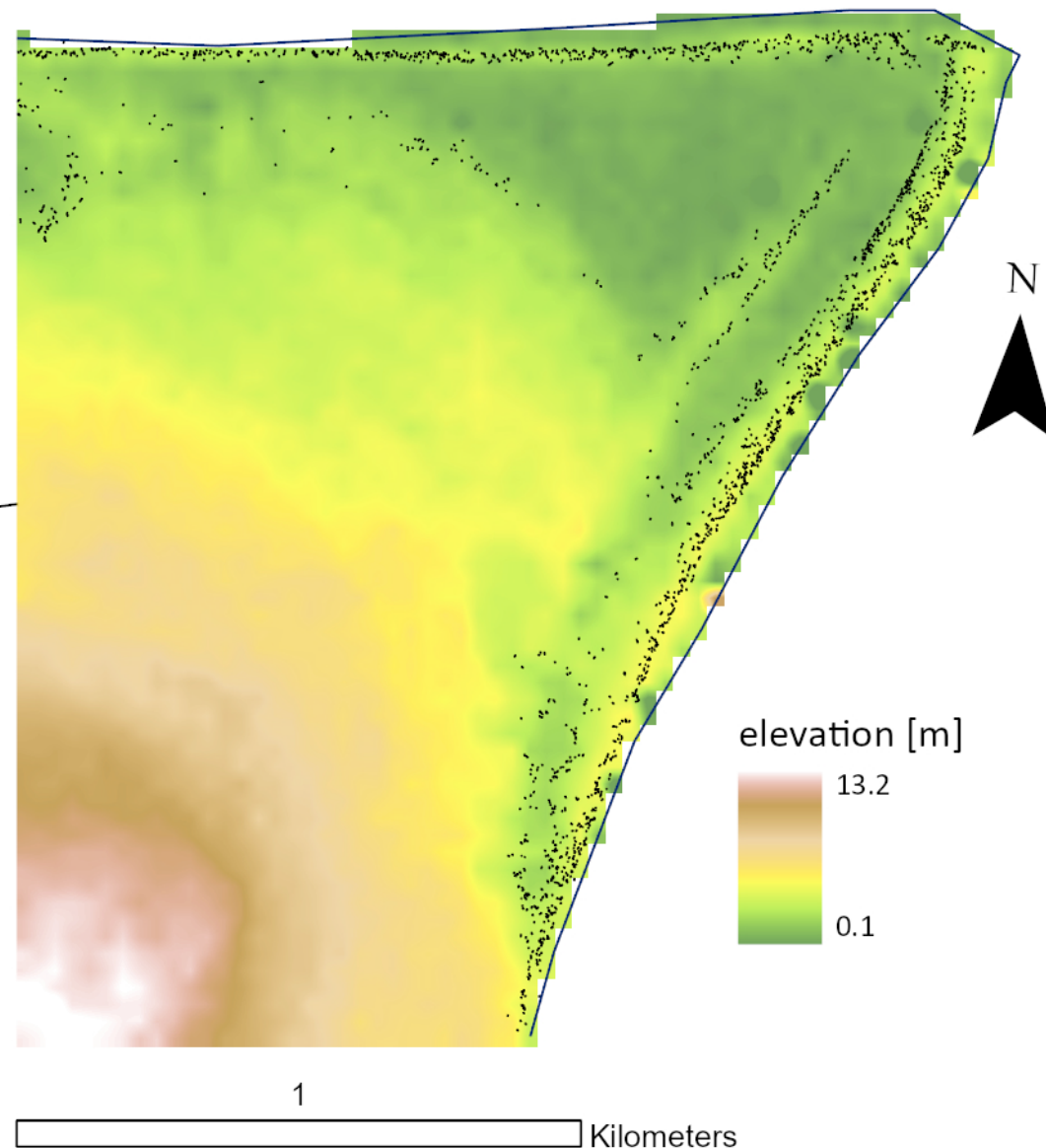
Foto: Mateusz Prager

Pomarańczowa linia (475 km) to obszar sczytywania DW ze zdjęć satelitarnych o wysokiej rozdzielczości ([High-resolution Satellite Imagery - Maxar Technologies](#)). W sumie sczytano 20 250 DW w postaci odcinków do liniowej warstwy GIS (co daje średnio 43 DW / km). Czerwone obszary to obszary o największym zagęszczeniu DW (187 km linii brzegowej - średnio 84 DW / km, znajduje się tam 77% sczytanych DW).



100

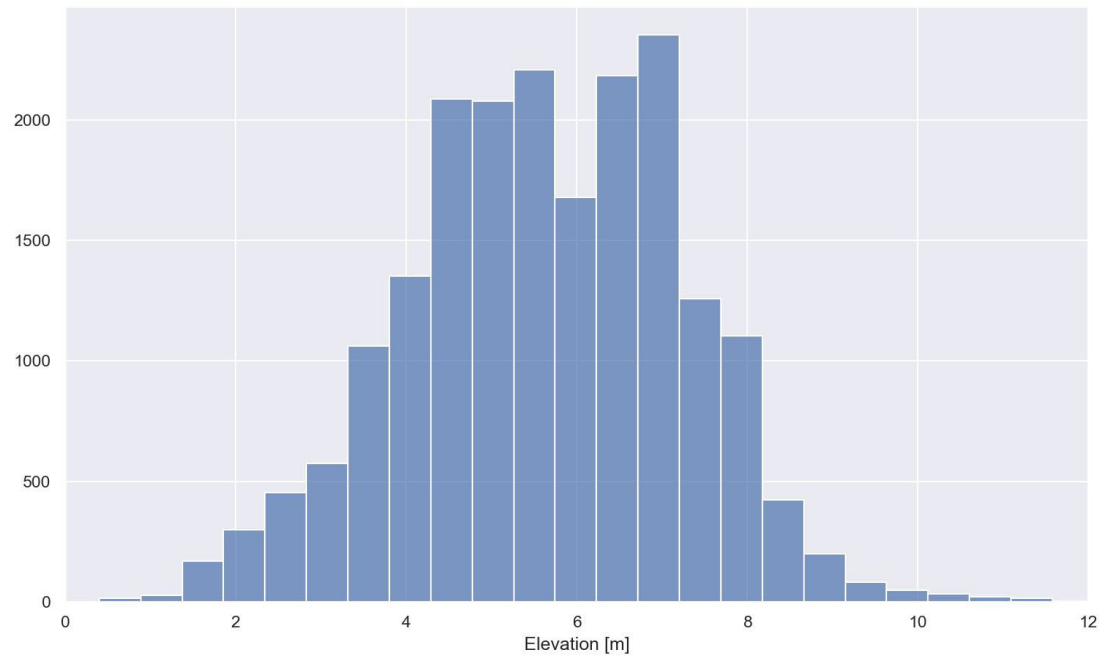
Kilometers



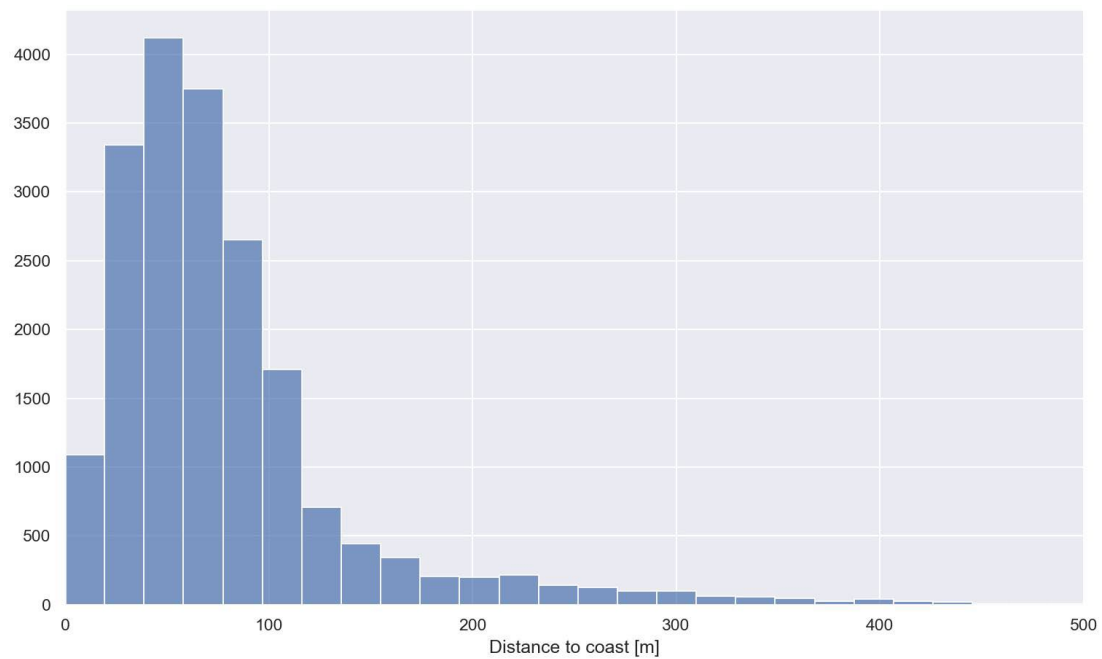
1

Kilometers

Obszar o największym zagęszczeniu DW z wysokością terenu (na mapce jest 1920 DW).



Histogram wysokości położenia DW (nad poziom morza)



Histogram odległości DW od brzegu

Wnioski – część B :

1. Do brzegów Svalbardu dociera **24%** drewna dryftowego z Peczory, Obu i Jeniseju. Najwięcej do jego północnej części.
2. Dryf z rzek do momentu dotarcia do brzegu lub zatonięcia trwa średnio 3-4 lata (max 7) i ma długość 9 – 10 tysięcy km (max do 17).
3. Trajektorie mają zróżnicowany przebieg i mogą tworzyć pętle, których przebycie może sięgać roku. Centrum najczęstszych wirów ma miejsce między Nową Ziemią a Ziemią Franciszka Józefa.
4. 10 % drewna z rzek tonie w centralnej części Morza Barentsa.
5. Depozycja drewna dryftowego na brzegu zależy od ukształtowania brzegu. Najwięcej depozycji jest obserwowane na wys. 5 – 7 m, w odległości 20-80 metrów od brzegu.

Dalaiden, Q., Goosse, H., Lecomte, O., Docquier, D., 2018. A model to interpret driftwood transport in the Arctic. *Quat. Sci. Rev.* 191, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.05.004>.

..... the Siberian driftwood simulated is consistent with the REF. IABP since the most of driftwood mainly ends up in North Greenland (46%) and Svalbard (**24%**).

Citation: A. Cózar, E. Martí, C. M. Duarte, J. García-de-Lomas, E. van Sebille, T. J. Ballatore, V. M. Eguíluz, J. I. González-Gordillo, M. L. Pedrotti, F. Echevarría, R. Troublè, X. Irigoien, The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *Sci. Adv.* 3, e1600582 (2017).

...Surface circulation models and field data showed that the poleward branch of the Thermohaline Circulation transfers floating debris from the North Atlantic to the Greenland and **Barents seas**, which would be a dead end for this plastic conveyor belt. Given the limited surface transport of the plastic that accumulated here and the mechanisms acting for the downward transport, **the seafloor beneath this Arctic sector is hypothesized as an important sink of plastic debris.**