Nowe oceny ablacji Iodowców w Arktyce Jacek A. Jania¹ Małgorzata Błaszczyk¹), Michał Ciepły¹), Mariusz Grabiec¹), William Kochtitzky²)

¹⁾ Uniwersytet Śląski w Katowicach, ²⁾ University of New England, Biddeford, Maine, USA







39 Sympozjum Polarne Sopot - 2023

Fot. D. Cyran

Nowe oceny ablacji lodowców w Arktyce

Plan treści

1. Motywacja

2. Metody pomiarów bilansu masy lodowców i ablacji

- Pomiary bezpośrednie klimatyczny bilans masy
- Metody geodezyjne
- Metody grawimetryczne i inne

3. Najtrudniejsze badania bilansowe: cielenie lodowców – ablacja frontalna

4. Wyniki

- Skala lodowca
- Skala regionu Svalbard
- 5. Ablacja lodowców Arktyki
- 6. Podsumowanie

Lodowce i lądolody są stabilizatorami klimatu

Bilans masy lodowców zależy od klimatu. Wpływa na środowisko polarne i globalne.

Ablacja to kluczowa część bilansu masy, sterowana przez ocieplający się klimat. Dopływ słodkich wód ma wielkie znaczenie dla arktycznego środowiska morskiego. Zwiększona ablacja lodowców to czynnik wzrostu poziomu oceanów.

Jaka jest ablacja lodowców Arktyki i czy się zmienia?

Svalbard

Grenlandia

Udział ablacji lodowców Arktyki (-213 ± 29 Gt a⁻¹) odpowiada za około 1/3 eustatycznej zmiany poziomu mórz (IPCC, 2019)

Lodowiec to masa lodu położona na lądzie, powstała ze skumulowanych opadów śniegu i znajdująca się w stałym, zwykle powolnym, ruchu.

(wg. J. Jania, 1997)

Lodowiec Werenskiolda, Spitsbergen

Lodowce Svalbardu Większość uchodzi do morza

100

200 km

Lodowce uchodzące do morza

Source: Błaszczyk *et al.,* 2009 Map elaborated by M. Blaszczyk



Lodowce uchodzące do morza zajmują 65 % powierzchni Ogólna długość klifów lodowych \sim 740 km



Bilans masy lodowca uchodzącego do morza

Ogólny bilans masy lodowca jest sumą zasilania (akumulacji) – głownie śniegiem i wszystkich form ubytków masy (ablacji). Pomiary przeliczane są na równoważnik wodny (ze względu na różnice gęstości śniegu, firnu i lodu).





Spływ wody z ablacji powierzchniowej Lodowca Hansa na jego przedpole lądowe (składowa ablacji ogólnej lodowca)



Cielenie Lodowca Hansa, Spitsbergen – składowa ablacji frontalnej (łącznie z topnieniem klifu lodowego pod wodą)



Pomiar klimatycznego bilansu masy za pomocą tyczek

Roczny bilans masy (ujemny)



Klimatyczny bilans masy obejmuje akumulację śniegu oraz lodu nałożonego i tylko ablację powierzchniową (topnienie powierzchni lodowca)





wg Sugden & John (1976); za https://opentextbc.ca/geology/chapter/16-2-how-glaciers-work/

Skaning satelitarny: laserowy oraz radarowy

CryoSat-2 (ESA)

Geodezyjny bilans masy (porównanie dwóch map Topograficznych - NMT lodowca)

GPS

Skaning laserowy ICESat (2003-2009) ICESat-2 (1918-) [zależny od chmur]





GRACE (2002-2017) + GRACE-FO (2018 -) Gravity Recovery and Climate Experiment

(NASA & German Aerospace Center)

Grawimetryczny bilans masy (porównanie dwóch map grawimetrycznych obszaru zlodowaconego)

Fotogrametria lotnicza Lotniczy skaning laserowy

m (w.e.)

Klimatyczny bilans netto lodowców Spitsbergenu





Wyporność cieczy...

Jak ważne są góry lodowe dla poziomu morza?

Photo by Witek Kaszkin



Gęstość lodu lodowcowego 0,9 t/m³

Gęstość wody morskiej ok. 1,025 t/m³



Czubek góry lodowej w Hornsundzie

$\mathbf{Q_{c}} = (V_{g} \times P_{ic}) + (P_{ic} \times dX)$

Q_c – średnia ablacja frontalna (masa lodu utracona na kontakcie z morzem) V_g – średnia prędkość ruchu lodowca w przekroju poprzecznym klifu P_{ic} – powierzchnia przekroju poprzecznego jęzora przy klifie lodowym dX – średnia roczna zmiana położenia klifu (awans "-" / recesja "+")

Prędkość ruchu [m yr-1]

Zamiany położenia czoła: awans lub recesja [m a⁻¹]

Powierzchnia przekroju poprzecznego jęzora [m²] (szerokość lodowca x średnia grubość)

Intensywność cielenia – Ablacja frontalna (objętość/masa lodu utracona na kontakcie z wodą morską w ciągu roku)

Photo by J.A. Jania, 2003

Pomiary geometrii czoła lodowca uchodzacego do morza

Skaning laserowy klifu lodowego 2009

(J. Krawiec & W. Krawiec, Laser 3D and A. Adamek)



Photo W. Krawiec, Laser 3D.pl

Pomiary skaningowe: 2012 (M. Pętlicki, M. Ciepły), 2015, 2018, 2021 (M. Błaszczyk i inni)





Photo: P. Krężel

Skaner laserowy Riegl VZ 600 (Laser 3D.pl) Lato 2015 (K. & J. Krawiec, M. Blaszczyk & M. Petlicki)

Pomiary prędkości ruchu przy czole ze skanów powtarzanych, pomiarów GNSS i satelitarnych.

Sondowanie głębokości morza przed klifem (T. Pastusiak i inni) + sondowanie radarowe grubości lodowca (M. Grabiec i inni).



Sondowanie głębokości fiordu przed klifem lodowca pozwala określić powierzchnię przekroju poprzecznego jęzora, dla wyliczeń intensywności ablacji frontalnej. Pomiary sondą wielowiązkową r/v *OceanXplorer* (USA) przed Lodowcem Paierla (Vestre Burgerbukta) dla Wyprawy Uniwersytetu Śląskiego w lecie 2021r.).

Sondowanie głębokości fiordu przed klifem lodowca w płytszych i węższych fiordach nie jest bezpieczne dla statku. Korzysta się z mniejszych jednostek pływających. Pomiary sondą jednowiązkową przed Lodowcem Hansa (Hansbukta) z łodzi Wyprawy Uniwersytetu Śląskiego latem 2022r.).

Fot. R. Wojnar (Radofoto -2022





Profil poprzeczny przy czole Lodowca Hansa



Roczna ablacja powierzchniowa (letnia) i frontalna (topnienie pow. + cielenie)





Proporcje topnienia i cielenia w ablacji ogólnej średnia z wielolecia: 62% i 38%

topnienie cielenie

From: Jania (2017) - Svalbard Science Conference, Oslo





Główny mechanizm ablacji frontalnej

Napływ cieplejszej wody morskiej (atlantyckiej), przy dużym równoczesnym topnieniu lodowców.

Zatem, przy zwiększonym wypływie wód roztopowych spod lodowca, stymuluje rozwój omywania klifu lodowego i topnienie pod wodą, a w efekcie intensywne cielenie.



Ciepły (2019) PhD Thesis Ciepły *et al.* (2023) JoG – złożone Holmes *et al.* (2019) Nature Błaszczyk *et al.* (2021) JGR

Błaszczyk et al., 2023 (Journal of Geophysical Research: Earth Surface; DOI 10.1029/2022JF006911)



Wg M. Błaszczyk et al., 2023 (Journal of Geophysical Rresearch; DOI 10.1029/2022JF006911) - modified

Odległość od położenia klifu w 1992 r. (m)

Dopływ słodkiej wody do fiordu Hornsund w okresie 2006-2015 oszacowano na 2517 ± 82 Mt a⁻¹. Główną składową są wody roztopowe z lodowców (986 Mt a⁻¹; 39%) oraz ablacja frontalna (634 Mt a⁻¹; 25%). Reszta pochodzi z topnienia pokrywy śnieżnej na obszarach niezlodowaconych oraz z opadów deszczu. Lodowce pływowe Hornsundu tracą rocznie ok. 40% masy w wyniku cielenia, natomiast 60% na skutek topnienia powierzchniowego.

Blaszczyk et al. (2019) Polar Research, 38, 3506; http://dx.doi.org/10.33265/polar.v38.3506

Metoda bilansu hydrologicznego (pomiar przepływu w rzece odwadniającej basen Lodowca Werenskiolda) Bezpośrednie pomiary dopływu wód słodkich do fiordów są trudne i czasochłonne, ale niezbędne dla kalibrowania modeli ablacji powierzchniowej lodowcow

Lodowce Svalbardu

Około 65% uchodzi do morza (wg. powierzchni zlodowacenia)

Powierzchnia archipelagu: 61 tys. km² [ok. 1/5 Polski]

Lodowce pokrywają ok. **33 775 km**², [ok. 57 % Svalbardu]

12% lodowców Arktyki (z wyłączeniem Grenlandii)
Lądolód Grenladii
1,7 mln km²

Najgrubszy lód na Svalbardzie Amundsenisen >630 m





ORIGINAL RESEARCH published: 27 May 2020 doi: 10.3389/feart.2020.00156



Reconciling Svalbard Glacier Mass Balance

Thomas V. Schuler^{1,2*}, Jack Kohler³, Nelly Elagina⁴, Jon Ove M. Hagen¹, Andrew J. Hodson^{5,6}, Jacek A. Jania⁷, Andreas M. Kääb¹, Bartłomiej Luks⁸, Jakub Małecki⁹, Geir Moholdt³, Veijo A. Pohjola¹⁰, Ireneusz Sobota¹¹ and Ward J. J. Van Pelt¹⁰



Wzrost ujemnego bilansu masy lodowców w XXI w.: klimatycznego i ablacji frontalnej. Pogłębianie trendów ubytków masy.

Fig. 4. Reconciled estimates for climatic mass balance, total mass balance and residuals for the three epochs. The residual comprises frontal ablation and the related uncertainty. The estimates are represented by colored boxes, their width representing the period for which the estimate has been derived and the height representing the uncertainty of the mass change.



	Przykładowe szacunki						
Reference	Period	Method	Specific B_a (m w.e. a^{-1})	<i>B_a</i> (Gt a ⁻¹)	Balance component	bilansu masy lodowców	
Hagen et al., 2003a	~1970–1999	Upscaling 1	-0.38 ± 0.33	-14 ± 12	Total	Svalbardu (wg różnych metoc	
			-0.11	-4	Calving		
Hagen et al., 2003b	~1970–1999	Upscaling, 2	-0.12 ± 0.03	-4.5 ± 1	Total		
Błaszczyk et al., 2009	1999–2006	Flux		-6.75 ± 1.7	Calving		
Dunse et al., 2015	2013 (Basin-3)	Flux		-4.2 ± 1.6	Calving	-6.5 ±1.7 Gt a ⁻¹	
Nuth et al., 2010	1965/90–2003/7	dh	-0.36 ± 0.02	-9.7 ± 0.55	Total		
Moholdt et al., 2010	2003–2008	dh	-0.12 ± 0.04	-4.1 ± 1.4	Total		
_ang et al., 2015	1979–2013	Model (10 km)	-0.04	-1.6	CMB		
∖as et al., 2016	2003–2013	Model (3 km)	-0.26	-8.7	CMB		
Østby et al., 2017	1957–2014	Model (1 km)	0.08	2.7	CMB		
Völler and Kohler, 2018	1900-2010	Model (0.25 km)	-0.002	-0.07	CMB		
Hanssen-Bauer et al., 2019	2004–2017	Model (2.5 km)	-0.26	-8.7	CMB	Ogółem	
/an Pelt et al., 2019	1957–2018	Model (1 km)	0.09	3.0	CMB	-3 +2 Gt a-1	
Nouters et al., 2008	2003-2008	Gravimetry	-0.26 ± 0.09	-8.8 ± 3	Total		
Jacob et al., 2012	2003–2010	Gravimetry	-0.09 ± 0.06	_3±2 ←	Total		
Mémin et al., 2011	2003-2009	Gravimetry 1	-0.27 ± 0.03	-9.1 ± 1.0	Total	Ocrálere	
		Gravimetry 2	-0.46 ± 0.07	-15.5 ± 2.4 🗲	Total	Ogołem	
Matsuo and Heki, 2013	2004-2012	Gravimetry	-0.11 ± 0.09	-3.7 ± 3.0	Total	-15.5 +4.4 Gt a ⁻¹	
Gardner et al., 2013	2003-2009	Gravimetry 1	-0.20 ± 0.06	-6.8 ± 2.0	Total		
		Gravimetry 2	-0.13 ± 0.12	-4.4 ± 4.1			
Nouters et al., 2019	2002-2016	Gravimetry 1	-0.21 ± 0.04	-7.2 ± 1.4	Total		
		Gravimetry 2	-0.27 ± 0.21	-9.1 ± 4.1			
Möller et al., 2016	2000-2011	Model (10 km)	-0.05 ± 0.4	-1.7 ± 13.6	CMB		
Radic and Hock, 2011	1961-2000	Model	-0.04	-1.36	CMB		
Dyurgerov and Meier, 2005	1961–2003	Upscaling	-0.17 ± 0.04	-5.78 ± 1.36	SMB		
Marzeion et al., 2012, 2015	1901-2009	Model	-1.06 ± 0.15	-35.9 ± 5.3	SMB		
Dhmura, 2006	1967-2001	Upscaling	-0.38	-13	SMB		
Zemp et al., 2019	2006-2016	dh	-0.47 ± 0.23	-16 ± 8	Total	Wg. Schuler et al. (2020)	
3ox et al., 2018	1971–2017	Gravimetry, mix	-0.32 ± 0.09	-11 ± 3	Total	Frontiers in Earth Science	
This study	2000-2019	Upscaling	-0.21 ± 0.06	-7.0 ± 2.1	SMB		

The "flux" method refers to a combination of remotely sensed velocity fields and frontal area changes. "dh" refers to differencing elevation measurements by ground-based GPS profiling, air- or spaceborne photogrammetry, and laser or radar altimetry. "Gravimetry" refers to estimates derived from GRACE measurements; some studies use different corrections and obtain two estimates, indicated by numbers. Some estimates refer to different components of the total mass balance: calving, surface mass balance (SMB) and climatic mass balance (CMB) are marked in the table, where Total = CMB + Calving.

Svalbard

Utrata masy lodowców przez cielenie (ablację frontalną)

Liczby żółte: składowa z recesji czół (%)

> ~3.0 Gt a⁻¹ 37%

9.6 ± 2.2 Gt a⁻¹

 $Q_v = V_g * P_{ic} + Q_x = P_{ic} * dX$

 5.4 Gt yr⁻¹
 +
 4.2 Gt yr⁻¹

 Przepływ masy
 Recesja czół

 56%
 44%

2006-2010 Blaszczyk, Jania & Kolondra (2013)

Błaszczyk et al., 2009: 6.75 ± 1.7 Gt a⁻¹ (2000-2006)



~3.5 Gt a⁻¹ (Dowdeswell *et al.*, 2008) 46%

+ **Basin 3** (szarża) **5.2** ± 1.9 Gt yr⁻¹ 2012 - 2016 (Schellenberger *et al.*, 2017)

~2.1 Gt a⁻¹ 48%

~1.0 Gt a⁻¹ 60%



Na podstawie analizy fotogrametrycznej SfM lotniczych zdjęć ukośnych z lat 1936 (1938) dokonano rekonstrukcji

150 3D geometrii dla 1594 lodowców (bez E Austfonna).

Geyman *et al.* (2022), Nature; https://doi.org/10.1038/s41586-021-04314-4

0

-50

-100

∆h (m)

-150

- Zmiany powierzchni: -2,888 km² (-10,4%)
 Zmiany objętości: -746 km³ (-14,8%)
 Zmiany masy: -593,2 ± 15,1 Gt
- ⁵⁰ **Zmiany masy rocznie: -7,75 ± 0,20 Gt a⁻¹** Bilans geodezyjny: -0,35 ±0,03 m a⁻¹

Wzrost średniej T lata o +1°C odpowiada średniemu obniżeniu bilansu masy o -0,28 m a⁻¹ (w.e.).

Fig. 2 | Elevation change from 1936 to approximately 2010.

a, The Δh map has 5 m spatial resolution. **b**, The mean absolute error of the reconstructed 1936 surface is 5.4 m (Methods). **c**, **d**, Elevation dependence of thinning rates in **c** for the eight regions in **d**. **e**, The georeferenced ground control points (GCPs) and internal control points (ICPs) (Methods) are distributed across the archipelago, except in east Austfonna, where there are no photographs⁷ (Extended Data Fig. 3a). As there is only partial photo coverage of Austfonna, the summary statistics in this figure and in Extended Data Table 1 exclude contributions from Austfonna. **f**, The approximate 2010 surface represents the photogrammetric DEMs created by the NPI from vertical aerial images acquired in 2008–2012 (ref. 33). The region of south Spitsbergen, without a 2008–2012 model from NPI, is filled with the 10 m resolution ArcticDEM mosaic v.3.0 (ref. 39).

"Workshop on the Importance of Calving for the Mass Balance of Arctic Glaciers", Sopot, Poland – 2016

Hosted by the Centre for Polar Studies, University of Silesia and the Institute of Oceanology PAS. Supported by the IASC Network on Arctic Glaciology.

Efekty współpracy 18 autorów z 8 krajów Kochtitzky *et al.,* (2022) Nature Com.

Wykorzystano Randolph Glacier Inventory wersję 6.0 (RGI6), korygując liczbę i granice lodowców. Zastosowano jednolite metody dla wszystkich regionów.

Po raz pierwszy w badanich glacjologicznych Arktyki

zidentyfikowano **1496** lodowców pływowych. Stanowią one 28% powierzchni zlodowaconej. Skartowano ich czoła w sezonach letnich: 2000, 2010 i 2020 z obrazów satelitarnych Landsat 5, 7, 8 oraz ASTER i in.

W okresie 2000-2010 **49** lodowców wycofało się na ląd, a w okresie 2010-2020 aż **120.**



nature communications

Article

https://doi.org/10.1038/s41467-022-33231-x

The unquantified mass loss of Northern Hemisphere marine-terminating glaciers from 2000–2020

Received: 5 January 2022 Accepted: 7 September 2022

Published online: 11 October 2022

William Kochtitzky [®]¹ ⊠, Luke Copland¹, Wesley Van Wychen [®]^{1,2}, Romain Hugonnet [®]^{3,4,5}, Regine Hock^{6,7}, Julian A. Dowdeswell [®]⁸, Toby Benham [®]⁸, Tazio Strozzi [®]⁹, Andrey Glazovsky [®]¹⁰, Ivan Lavrentiev¹⁰, David R. Rounce¹¹, Romain Millan [®]¹², Alison Cook [®]¹, Abigail Dalton¹, Hester Jiskoot [®]¹³, Jade Cooley¹³, Jacek Jania [®]¹⁴ & Francisco Navarro [®]¹⁵

Check for updates

Źródła danych

Grubość lodowców z sondowań radarowych Glacier Thickness Database **(GlaThiDa)** 3.0.3 dla 268 lodowców, które dają razem 69% ablacji frontalnej w okresie 2010-2020. Poza nimi 250 lodowców miało dane przynajmniej dla linii centralnej (20% populacji). Przy zupełnym braku danych, wykorzystano wyniki modelowania (z Millan *et al.* (2022): Ice velocity and thickness of the world's glaciers. Nat. Geosci. 15: 124–129.

Prędkość powierzchniowa lodowców pochodziła głownie z bazy danych rocznych przemieszczeń cech powierzchni jęzorów na podstawie obrazów Landsat ujętej w Intermission Time Series of Land Ice Velocity and Elevation (**ITS_LIVE**) z rozdzielczością 240 m. Braki mniejsze niż 1 pixel uzupełniono na podstawie danych sąsiednich. Dla poprawienia danych z peryferii Grenlandii i Arktyki Rosyjskiej wykorzystano odpowiednio dane z baz **MEaSUREs InSAR** i **Sentinel-1** (Friedl *et al.* 2021).

Źródła danych

Zdefiniowano 1496 lodowców pływowych

na podstawie obrazów satelitarnych Landsat 5, 7, 8 i ASTER z okresu 1999-2020.

Zmiany położenia czół dla okresów 2000–2010 oraz 2010–2020 uzyskano z digitalizacji ręcznej <u>dla każdego lodowca</u> w latach 2000, 2010 i 2020, w okresie letnim, jeśli to było możliwe, na podstawie obrazów satelitarnych Landsat 5, 7, i 8 w zakresie widzialnym (30 m rozdzielczości przestrzennej). Luki uzupełniano danymi z obrazów ASTER.

Przekroje poprzeczne

Wykreślono ręcznie 5016 km "bram przepływu lodu" (*flux gates -* przekroje poprzeczne) dla wszystkich lodowców. Jednakże po skorygowaniu przebiegu przekrojów aby były prostopadłe do linii kierunku ruchu lodu, ogólna długość "bram przepływu" wyniosła 3802 km.

Analiza błędów została wykonana dla wszystkich elementów kalkulacji.



Kochtitzky et al., (2022) Nature Com.; https://doi.org/10.1038/s41467-022-33231-x

Średnia wielkość rocznej ablacji frontalnej (2010–2020) Svalbard i Arktyka Rosyjska

Ciemnoszare trójkąty to lodowce z ablacją frontalną <0.02 Gt a⁻¹. Kwadraty to lodowce z zakresem błędu rzędu 50%

4.0



Kochtitzky et al., (2022) Nature Com.; https://doi.org/10.1038/s41467-022-33231-x

Ablacja frontalna lodowców uchodzących do morza w Arktyce i Subarktyce

Table 1 | Frontal ablation and components

	Frontal ablation $\overline{(Gt a^{-1})}$		Ice discharge (Gt a ⁻¹)		Terminus mass loss (Gt a ⁻¹)		Length of – flux gates	Number of glaciers
	2000-2010	2010-2020	2000-2010	2010-2020	2000-2010	2010-2020	(km)	
Alaska	11.59±0.39	10.68±0.33	2 11.49 ± 0.35	9.79±0.18	-0.1±0.17	-0.89 ± 0.28	80	42
Arctic Canada North	4.14 ± 1.11	4.28±1.18	2.68 ± 0.65	2.24 ± 0.33	-1.45±0.91	-2.03±1.14	481	252
Arctic Canada South	0.09 ± 0.08	0.09 ± 0.08	0.04 ± 0.03	0.03 ± 0.02	-0.05 ± 0.07	-0.06±0.07	40	86
Greenland periphery	4.31±1.57	3.18±1.09	2.25±0.77	1.88±0.43	-2.05±1.36	-1.29±1.0	697	537
Iceland	0.10 ± 0.10	0.03 ± 0.03	0.10 ± 0.10	0.001±0.07	-0.003 ± 0.02	-0.03 ± 0.05	5	1
Svalbard and Jan Mayen	7.62±2.65	16.82±2.48	1 4.88±1.98	14.41±1.05	-2.74 ± 1.77	-2.4 ± 2.25	657	166
Russia: Franz Josef Land	10.46±5.05	7.44±3.29	3 8.78 ± 4.73	4.68 ± 2.21	-1.68 ± 1.76	-2.76 ± 2.44	1377	328
Russia: Novaya Zemlya	2.67±1.02	4.15 ± 0.93	2.02 ± 0.84	3.14 ± 0.37	-0.65 ± 0.57	-1.0 ± 0.86	182	39
Russia: Severnaya Zemlya	3.50±1.14	5.33±0.88	3.15 ± 1.06	4.23±0.59	-0.36±0.43	-1.1±0.64	283	45
Total	44.47±6.23	51.98 ± 4.62	35.40 ± 5.41	40.41±2.61	-9.07±3.07	-11.57 ± 3.81	3802	1496

Decadal mean mass losses (± uncertainties) by region (from west to east) for all Northern Hemisphere marine-terminating glaciers, due to advance or retreat of terminus position (terminus mass change), ice flow through a terminus flux gate (ice discharge), and the sum of these (frontal ablation).

Kochtitzky et al., (2022) Nature Com.; https://doi.org/10.1038/s41467-022-33231-x

Svalbard 220,7% Total 116,9% Wzrost wielkości cielenia

Svalbard - dramatyczny wzrost cielenia o 220,7%.

Głównie z powodu przyśpieszenia ruchu lodowców.

Alaska jest druga pod względem intensywności cielenia, a Ziemia Franciszka Józefa trzecia.



Grenlandia





Lądolód Grenlandii (GIS) Bilans masy: dSMB – klimatyczny; dD – cielenie)

https://doi.org/10.1073/pnas.1904242116

Kochtitzky *et al.,* (2022 + kalkulacje JJ



Szacunki składowych globalnego wzrostu poziomu oceanów (1993-2018)



Trudności w określeniu czynników składowych podnoszenia poziomu oceanów (przykłady estymacji [mm/rok])



Arktyki (łącznie z Lądolodem Grenlandzkim) **0,49 mm a**⁻¹ (2000-2018/20).

© ESA SLBC_cci, TU Dresden

https://tu-dresden.de/tu-dresden/newsportal/news/die-rechnung-geht-auf-meeresspiegelanstieg-und-seine-ursachen-neu-beziffert?set_language=en

Podsumowanie [1]

Ablacja ogólna lodowców Arktyki rośnie i zwiększa się jej znaczenie dla środowiska i ekosystemów morskich oraz globalnego poziomu mórz.

- Wykonano pierwszą estymację ablacji frontalnej (cielenia) dla lodowców całej Arktyki (z wyłączeniem Lądolodu Grenlandii). Stanowi ona ok. 29 – 34% ogólnej ablacji frontalnej (cielenia) w Arktyce, biorąc pod uwagę eszystkie lodowce, łącznie z Lądolodem Grenlandzkim.
- Ważniejszy jest dopływ lodu do morza niż składowa cielenia z recesji. Recesja także mniej wpływa na poziom mórz niż dopływ lodu. Tylko część nadwodna klifu, po ocieleniu, dodatkowo wypiera wodę.
- Widoczne są różnice przestrzenne intensywności cielenia. Zależą od warunków klimatycznych i oceanicznych regionów lodowców uchodzących do morza.
- Mechanizm cielenia jest związany z napływem ciepłej wody morskiej i wysoką ablacją powierzchniową. Wody ablacyjne, wypływające u spodu klifu lodowego, intensyfikują wymianę ciepła pomiędzy wodą morską, a podwodną ścianą lodową.

Canon EOS 1000D automatic photo

Podsumowanie [2]

- Ablacja frontalna lodowców Svalbardu jest w Arktyce drugą po Lądolodzie Grenlandzkim pod względem masy odprowadzanej do morza. Jednak ubytek masy różni się o jeden rząd wielkości.
- Średni wzrost poziom oceanu światowego ulega przyspieszeniu (ze względu na większą dynamikę spływu lodowców do morza).
- Recesja lodowców z morza na ląd zmniejszy w przyszłości ablację frontalną i ogólną wielu obszarów Arktyki.
- Recesja nie zahamuje cielenia jęzorów wyprowadzających lód z lądolodu Grenlandii, ze względu na obniżanie się podłoża lodowców w stronę centrum lądolodu.
- Potrzebne są dalsze bezpośrednie badania ablacji (powierzchniowej i frontalnej) na większej grupie lodowców Arktyki, dla kalibracji i walidacji danych teledetekcyjnych i modeli glacjo-klimatycznych.











39 Sympozjum Polarne Sopot - 2023

