

Nasuwy taflí lodowych na brzegi polskich zalewów przybrzeżnych

Prof. dr hab. Józef Piotr Girjatowicz
Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi

Na wybrzeżu polskim najbardziej sprzyjające warunki do tworzenia się płaskich (niezdeformowanych) pokryw lodowych, oprócz jezior, występują na zalewach przybrzeżnych. Po utworzeniu się szkła lodowego w wyniku dalszego spadku temperatury powietrza tworzy się stała pokrywa lodowa. Taka pokrywa lodowa utworzona z narastania grubości szkła lodowego ma przeważnie stałą grubość, jest płaska, spoista i o dużej wytrzymałości na deformacje. Grubość tych pokryw lodowych na polskich zalewach przybrzeżnych wynosi przeważnie $20 \div 30$ cm. Rozpad takiego stałego lodu poprzedza okres ocieplenia, (temp. $> 0^{\circ}\text{C}$), kiedy następuje topnienie i zmniejszenie się grubości lodu. Na zalewach przybrzeżnych pokrywa lodowa już o grubości poniżej 20 cm, w wyniku oddziaływania silnego wiatru, może ulegać rozpadowi [4, 13]. Siła wiatru jest głównym czynnikiem wywołującym ruszenie lodów prowadzącym do nawarstwiania i piętrzenia się lodów na zalewach przybrzeżnych. Natomiast na brzegach i w głębi łądu mogą pojawić się

nie tylko spiętrzenia lodowe, ale także nasuwy taflí lodowych o długości nawet powyżej 100 m [1, 6, 7].

Nasuwający się lód destrukcyjnie oddziałuje nie tylko na brzeg, ale też na budowlę hydrotechniczną (rys. 1 i 2). O takiej destrukcyjnej działalności lodu na zalewach przybrzeżnych wspomniano już dość wcześnie [3, 10]. Jednak w literaturze naukowej rzadko pisze się o nasuwach lodowych na brzeg. O tych zjawiskach wspomina się w niektórych pracach badaczy łotewskich [7], estońskich [11] i fińskich [1, 8]. Na słabe rozpoznanie nasuwów lodowych zapewne mogło mieć wpływ epizodyczne pojawianie się tych zjawisk lodowych. Znacznie częściej nasuwający się lód ulega spiętrzeniu na brzegu niż nasuwaniu się w głąb łądu.

W pracy podano niektóre przykłady nasuwów taflí lodowych, przyczyny powstawania oraz skutki, jakie one wywołują w strefie brzegowej. Obserwacje i pomiary nasuwów lodowych były wykonywane podczas rekonesansów pieszych. Zjawiska te pojawiają się bardzo rzadko i to wyłącznie na brzegach płaskich. Są to rejony przeważnie zabagnione, zalewane podczas wezbrań i stąd są trudno dostępne [5, 11]. Brak jest też informacji o tych zjawiskach w raportach służb obserwacyjnych.

Do pomiaru wielkości nasunięć taflí lodowych na ląd, grubości lodu i usytuowania w przestrzeni posługiwano się taśmą mierniczą, ręcznym świdrem do lodu, łatą lodową, kompasem, a także GPS-em (*Global Positioning System*). W trakcie rekonesansów lodowych wykonywano także zdjęcia fotograficzne tych zjawisk lodowych.

METEOROLOGICZNE I HYDROLOGICZNE PRZYCZYNY NASUWANIA TAFLÍ LODOWYCH

Nasuwanie się taflí lodowych na ląd zachodzi podczas występowania silnego wiatru dolądowego, głównie podczas nawałnicy. Takie warunki stwarzają głębokie zatoki niżowe w momencie przechodzenia chłodnego frontu. Występujące tam duże gradienty ciśnienia atmosferycznego generują bardzo silne, a nawet huraganowe wiatry, głównie z kierunków zachodnich.

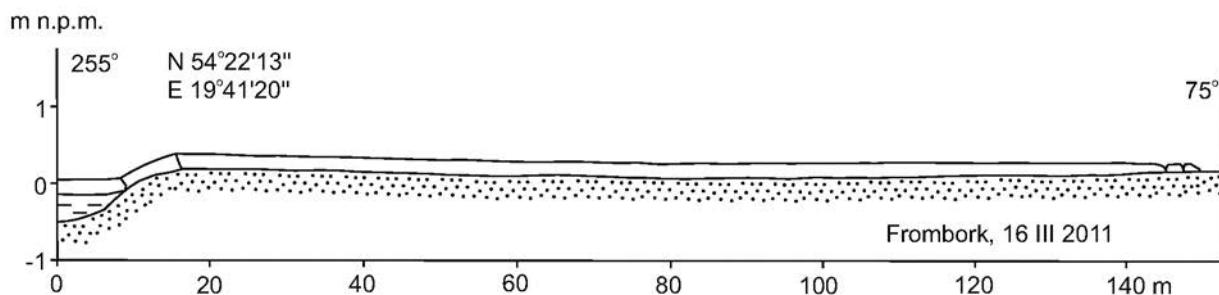
Przykładem warunków sprzyjających nasuwaniu się taflí lodowych na brzeg jest sytuacja anemobaryczna z dnia 8 lutego 2011 roku [2]. Wówczas polskie wybrzeże było pod wpływem głębokiego niżu szybko przemieszczającego się równoleżnikowo z zachodu na wschód przez Bałtyk Centralny. Na tej trasie niż pogłębiał się ($980 \rightarrow 975$ hPa) wraz z przemieszczającą się zatoką niżową z frontem chłodnym. Wystąpiło duże zagęszczenie izobar o gradiencie ciśnienia około $7 \div 8$ hPa, generującym sztormowe wiatry (powyżej 20 m/s) z kierunków zachodnich. Przy takich warunkach anemologicznych u naszych brzegów Bałtyku, a także na zalewach przybrzeżnych wystąpiły wezbrania sztormowe. Wysokie poziomy wody sprzyjały dalekim nasuwom taflí lodowych, bowiem podnoszą one pokrywę lodową i zmniejszają tarcie lodu na powierzchni lądowej.



Rys. 1. Ścięte skarpy brzegowe przez lód na Zalewie Wiślanym (Tolknicko, 9 IV 1999 r.)



Rys. 2. Nasunięte pole lodowe na umocnienia brzegowe portu w Tolknicku (Zalew Wiślany, 11 II 2011 r.)



Rys. 3. Nasunięta tafla lodowa na brzegu Zalewu Wiślanego (Frombork, 16 III 2011 r.)

Największe załamania spadku występują przeważnie na brzegu, gdzie najczęściej dochodzi do deformacji nasuwającego się lodu i jego piętrzenia, zwłaszcza przy niskim poziomie wody. Natomiast przy wysokich poziomach wody lód podnosi się powyżej tej przeszkody i może dalej nasuwać się w głąb łądu (rys. 3). Na rys. 3 pokazano podłużny przekrój nasuniętej tafli lodowej w głąb łądu na odległości 140 m od brzegu na Zalewie Wiślanym w rejonie Fromborka w dniu 8 lutego 2011 roku. Na brzegu jest widoczne przelamanie nasuniętej tafli lodowej, które powstało po ustąpieniu wezbrania i obniżeniu się pozio-

mu wody. W momencie nasuwania się lodu (8 lutego 2011) poziom wody był o około 0,5 m wyższy od średniego poziomu, co umożliwiło swobodne nasunięcie się tafli lodowych w głąb łądu (rys. 4). Na rys. 4 pokazano dwie nasunięte tafle lodowe w głąb łądu w odległości około 140 m od brzegu na Zalewie Wiślanym w rejonie Fromborka. Szerokość tafli lodowych u podstawy (od strony zalewu) dochodziła do 150 m i zwężała się w kierunku jej czoła (od strony łądu). Na krawędziach tych tafli, zwłaszcza w pobliżu brzegu, zalegał gruz lodowy, niekiedy przyjmując postać prostopadłych do brzegu spiętrzeń lodowych. Obłamujący się lód po obu bokach nasuwających się tafli lodowych sprawiał, że tafle stawały się coraz węższe i zaokrąglone od czoła, przyjmując tam postać półkoli, końcówek palców czy języków.

Końcówki nasuniętych tafli lodowych mogą być bardzo wąskie o szerokości do kilku metrów (rys. 5). Na rys. 5 jest widoczna zwężająca się tafla lodowa z obłamanymi fragmentami lodu po obu jej stronach na Półwyspie Rów Zalewu Szczecińskiego. Długość tych tafli na lądzie wynosiła około 120 m. W strefie brzegowej po obu stronach tej tafli nasuwający się lód uległ zwałowaniu. Tafla lodowa nasunęła się w dniu 28 stycznia 2003 roku w momencie wystąpienia bardzo silnego wiatru (17 m/s) z kierunku zachodniego (W). Wówczas Zalew Szczeciński był pod wpływem głębokiej zatoki związanej z niżem z ośrodkiem nad Morzem Norweskim (979 hPa) w strefie przechodzącego frontu chłodnego [2].

Na końcówkach długich nasunięć tafli lodowych zwykle nie występują spiętrzenia lodowe ani też wały nasuniętego ściętego gruntu. Spiętrzenia lodowe pojawiają się przeważnie na końcówkach krótkich nasunięć tafli lodowych. Takie spiętrzenia lodu mogą tworzyć się na nierównościach (załamaniach) terenu niedaleko od brzegu (rys. 6). Na przedstawionym przekroju (rys. 6) pokazano niewysoki zwał lodowy na brzegu Zatoki Płocińskiej Zalewu Szczecińskiego utworzony w dniu 8 lutego 2011 roku. Zwał ten uniemożliwiał dalsze nasuwanie się tafli lodowej w głąb łądu. Nasuwająca się tafla lodowa obłamywała się w wierzchołkowej części zwału i powstały w niej gruz lodowy zsuwał się po jego zawietrznym zboczu.

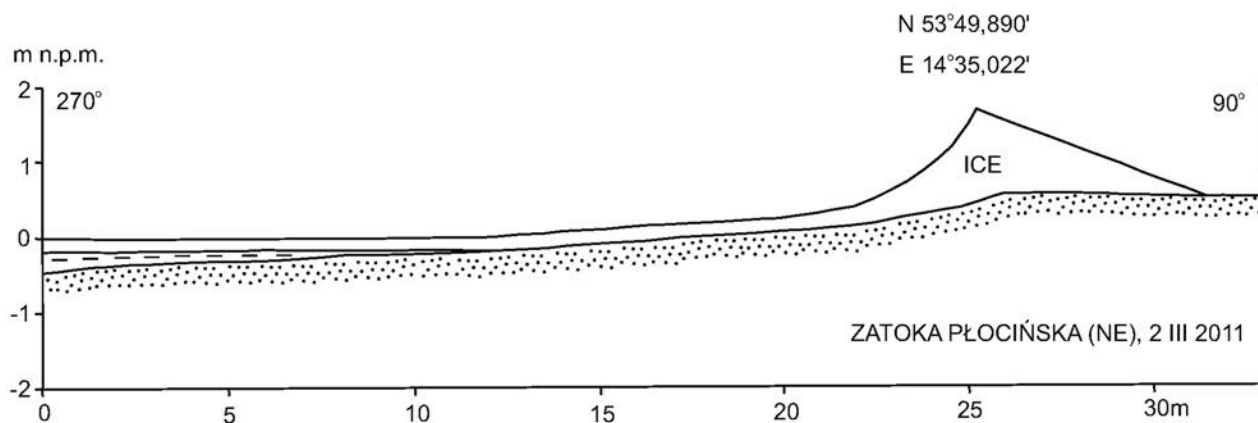
Przeszkodą dla nasuwającej się tafli lodowej na ląd może być nie tylko bardziej nachylony brzeg (skarpa brzegowa), ale też krzewy i drzewa (rys. 7 i 8). Na rys. 7 jest widoczne uszkodzone u podstawy drzewo na Półwyspie Rów Zalewu Szczecińskiego, podczas nasuwania się pola lodowego w dniu 1 lutego 2004 roku. Rozcięte pole lodowe przez pień drzewa uległo zwałowaniu (prawa strona rysunku), natomiast po lewej stronie rysunku jest widoczna tafla lodowa nasunięta około 60 m od brzegu, w wyniku wiatru sztormowego (20 m/s) z kierunku SW. Nasunięte tam od czoła tafle lodowe miały zaokrąglone



Rys. 4. Nasunięte w głąb łądu tafle lodowe w rejonie Fromborka (Zalew Wiślany, 11 II 2011 r.)



Rys. 5. Nasunięta w głąb łądu tafla lodowa na Półwyspie Rów (Zalew Szczeciński, 12 III 2003 r.)



Rys. 6. Niewielki zwal lodowy na krawędzi nasuniętej tafli lodowej na północno-wschodnim brzegu Zatoki Płocińskiej (Zalew Szczeciński, 2 III 2011 r.)

krawędzie, przyjmując kształty końcówek palców, języków i półelips. Na rys. 8 jest widoczny zwal lodowy pod kępą drzew w strefie brzegowej Zalewu Wiślanego w rejonie Fromborka. Zwał ten utworzył się 8 lutego 2011 roku i osiągnął wysokość około 5 m. W głębi rysunku są widoczne uszkodzone drzewa, na wysokości około 5 m, co wskazuje o zasięgu pionowym piętrzących się tafli lodowych.

SKUTKI ABRAZYJNEGO I AKUMULACYJNEGO ODDZIAŁYWANIA LODU NA BRZEG

Rosnące drzewa w strefie brzegowej zalewów przy morskich są nie tylko uszkodzane, ale mogą być też wyorywane wraz z korzeniami i gruntem przez nasuwającą się tafle lodową



Rys. 7. Tafla lodowa nasunięta w głąb Półwyspu Rów (Zalew Szczeciński, 18 III 2003 r.)



Rys. 9. Wyorane drzewo przez nasuwający się lód w strefie brzegowej Zalewu Szczecińskiego (Zalew Szczeciński, 19 II 2004 r.)



Rys. 8. Zwał lodowy w strefie brzegowej Zalewu Wiślanego (Frombork, 16 III 2011 r.)



Rys. 10. Spiętrzony lód wraz z wyoranimi osadami na obrzeżu nasuniętej tafli lodowej na Półwyspie Rów (Zalew Szczeciński, 14 III 1993 r.)



Rys. 11. Niewielki półwysp osłonięty od strony Zalewu Szczecińskiego kępą drzew (Półwysp Rów, 12 III 2004 r.)

(rys. 9). Na rys. 9 jest widoczne ścięte wraz z korzeniami drzewo i przeniesione w głąb lądu przez nasuwającą się tafłę lodową na Zalewie Szczecińskim w rejonie Czarnocina. Napór lodu o grubości około 20 cm wystąpił w dniu 1 lutego 2004 roku, kiedy prędkość wiatru z kierunku południowo-zachodniego (SW) wynosiła 20 m/s. Wówczas Zalew Szczeciński był pod wpływem głębokiego niżu z ośrodkiem nad Danią (980 hPa) po przejściu frontu chłodnego w strefie dużego zagęszczenia izobar (dużego gradientu ciśnienia) [2].

W strefie brzegowej ścinane są nie tylko skarpy brzegowe, ale też są wyorywane przez lód osady z dna i przenoszone w kierunku lądu (rys. 10). Na rys. 10 są widoczne wyorane osady i przetransportowane kilka metrów dalej na Półwyspie Rów Zalewu Szczecińskiego. Zwykle po wyoranych osadach wraz z kępami roślinności pozostają niewielkie zatoczki o długości i szerokości kilku metrów.

Ścinanie kęp roślinności przez nasuwające tafle lodowe i ułatwione procesy abrazyjne falowania spowodowały bardzo urozmaiconą linię brzegową wschodnich brzegów Zalewu Szczecińskiego. Brzegi te ekspozowane na najczęściej występujące wiatry zachodnie ulegają silnej abrazji nie tylko przez falowanie, ale też przez lód. Bardziej odporne na abrazję są brzegi porośnięte drzewami, tworząc charakterystyczne półwyspy (rys. 11). Na rys. 11 widać wysuniętą ku zalewowi kępę drzew na zachodnim brzegu Półwyspu Rów. Na pierwszym planie są widoczne ścięte przez lód kępy roślinności wraz z osadami pochodzącymi z wyoranej obok zatoczki podczas nasuwania się lodu w dniu 1 lutego 2004 roku. Takie „zatoczki lodowe” i obok występujące półwyspy tworzą bardzo urozmaiconą (postrzępioną) linię brzegową.

WNIOSKI

W zakończeniu można przedstawić następujące wnioski:

1. Nasuwanie się tafli lodowych na ląd jest uzależnione od wielu czynników, głównie meteorologicznych (silny wiatr), hydrologicznych (wysoki poziom wody) i geomorfologicznych (płaskie i niskie brzegi).

2. Czynnikiem wywołującym nasuwy tafli jest silny wiatr (szkwał, nawałnica) towarzyszący chłodnemu frontowi w głębokich niżach (zatokach) barycznych. Przy takich warunkach meteorologicznych dominuje wiatr z kierunków zachodnich (SW, W, NW), co sprawia że nasuwy lodowe pojawiają się najczęściej na wschodnich brzegach zalewów przybrzeżnych.
3. Dalekim nasuwom tafli lodowych, których grubość wynosi przeważnie kilkanaście centymetrów, sprzyja wysoki poziom wody oraz płaski i niski brzeg, zmniejszając tarcie nasuwającego się lodu, natomiast przy niskim poziomie wody lub stromym, czy wysokim brzegu dryfujące pole lodowe ulega tam zwałowaniu. Im silniejszy jest wiatr i wyższy poziom wody, tym dalej w głąb lądu nasuwa się tafle lodowa. W rejonie zalewów przybrzeżnych długie nasuwy tafli przekraczają 100 m.
4. Nasunięte tafle lodowe na ląd zwłaszcza długie nasuwy są wyraźnie zaokrąglone w części czołowej i przyjmują postać: języków, półelips czy półkoli. Jest to skutkiem zwiększonego tarcia na ich krawędziach. Natomiast czoła krótkich nasunięć lodowych mają przeważnie kształt kanciasty (słabiej zaokrąglony).
5. Najbardziej narażone na destrukcyjne oddziaływanie lodu są wschodnie brzegi zalewów przybrzeżnych. Wynikać to będzie z dominacji występowania wiatrów z kierunków zachodnich, podczas których najczęściej następuje rozpad stałych pokryw lodowych, dryf pól lodowych, zwałowanie czy nasuwanie się lodu na brzeg.
6. W dobie ocieplania się klimatu i pogłębiania się niżów barycznych [9, 12] oraz generowania przez nie silniejszych wiatrów i wyższych poziomów wody pojawiać się mogą nasuwy grubszych (>20 cm) tafli lodowych, które będą bardziej destrukcyjnie oddziaływać na brzeg i obiekty tam występujące.

LITERATURA

1. Alestalo J. and Häikiö J.: Ice features and ice-thrust shore forms at Luodonselkä, Gulf of Bothnia in winter 1972/73. Fennia 144, Helsinki 1976.
2. Analysis chart valid 00 UTC SAT, 2003-2011, Archiv der 00 UTC UKMO-Bracknell-Bodenanalysen. <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tk-faxbraar.htm> (Aug.07.2014).
3. Banzhaf W.: Eisschubberge am Stettiner Haff. Natur und Museum 61(12), 1931.
4. Girjatowicz J. P.: Hydrologiczne i meteorologiczne przyczyny rozpadu stałej pokrywy lodowej na Zalewie Szczecińskim. Prace Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej 13, 1977.
5. Girjatowicz J. P.: Ice thrusting and hummocking on the shores of the Southern Baltic sea's coastal lagoons. Journal of Coastal Research 30(3), 2014.
6. Girjatowicz J. P.: Forms of onshore ice thrusting in coastal lagoons of the southern Baltic sea. Journal of Cold Regions Engineering, on-line: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CR.1943-5495.0000069>.
7. Kraus E.: Über Eisschubberge. III Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten, Warschau 1930.

8. Leppäranta M.: Land-ice interaction in the Baltic Sea. *Estonian Journal of Earth Sciences* 62(1), 2013.
9. Löptien U., Zolina O., Gulev S., Latif M., Soloviev V.: Cyclone life cycle characteristics over the Northern Hemisphere in coupled GCMs. *Climate Dynamics* 31, 2008.
10. Lundbeck, J.: Eisschiebungen am Kurischen Haff. *Natur und Museum* 61(1), 1931.
11. Orviku K., Jaagus J. and Tõnisson H.: Sea ice shaping the shores. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 64, 2011.
12. Sepp M., Post P. and Jaagus J.: Long-term changes in the frequency of cyclones and their trajectories in Central and Northern Europe. *Nordic Hydrology* 36, 2005.
13. Zakrzewski W.: Prognozowanie rozpadu i zaniku lodu na Zatoce Puckiej. *Wiadomości IMGW* 2-3, 1978.