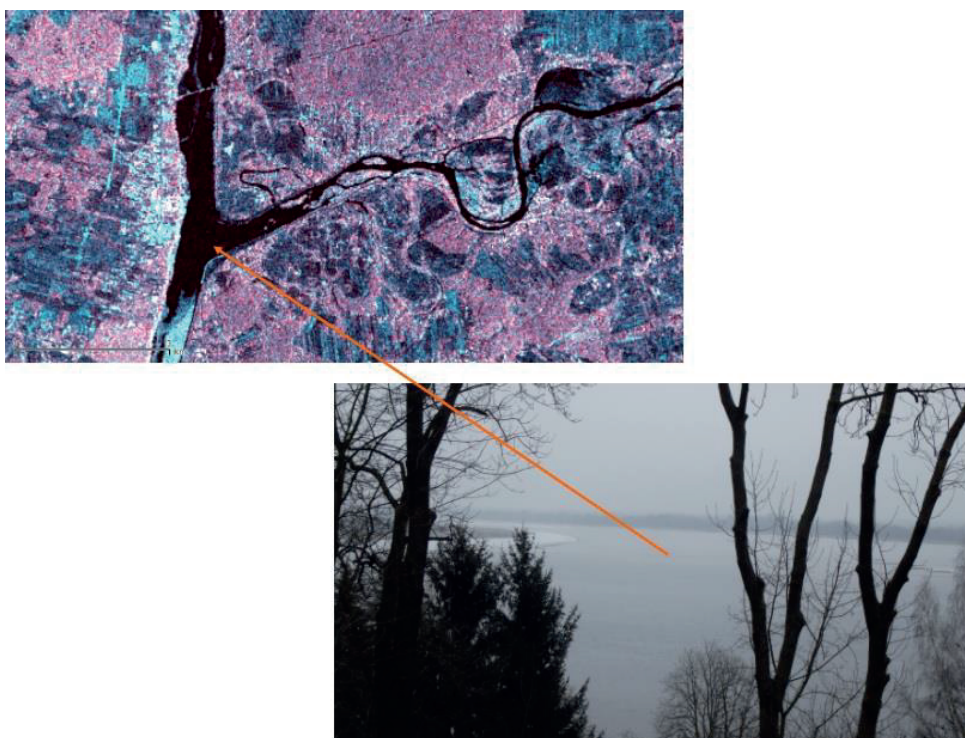


- śryż (FI – ang. *Frazil Ice*),
- pokrywa lodowa (IC – ang. *Ice Cover*),
- spiętrzona pokrywa lodowa, zbudowana ze słoczonych form lodu mobilnego (CI – ang. *Consolidated Ice*).

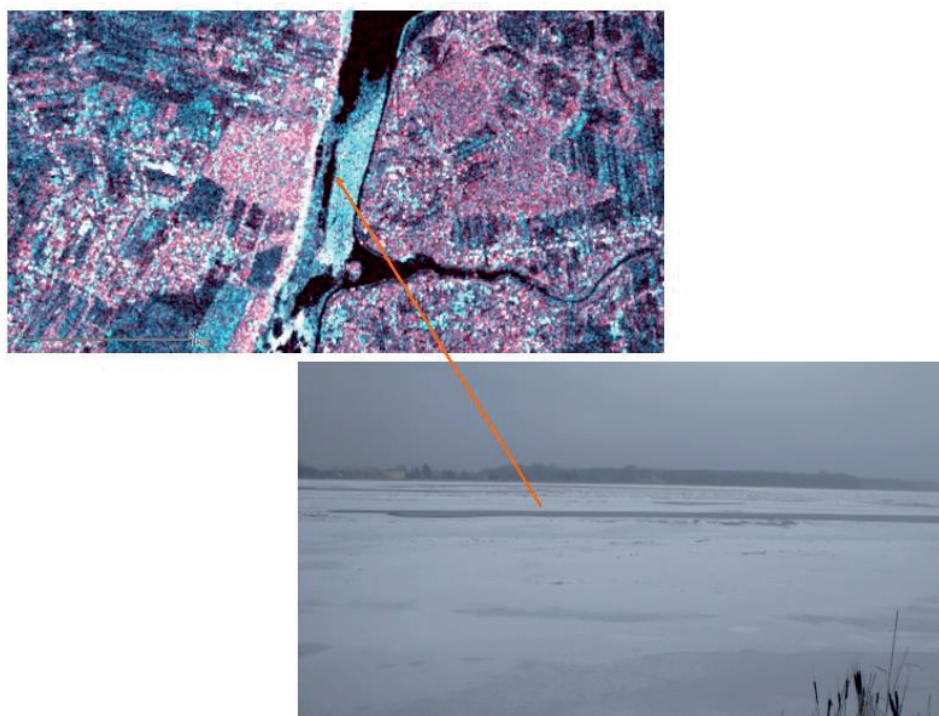
Po wyznaczeniu klas form lodu rzecznego przystąpiono do wizualnej oceny możliwości zlokalizowania poszczególnych zjawisk lodowych i ich zasięgu, a także na podstawie tej oceny, posiłkując się informacjami zawartymi w komunikacie lodowym, zlokalizowano typy zlodzenia oraz wygenerowano wartości współczynnika rozproszenia wstecznego dla kanałów VH i VV oraz macierzy kowariancji 2x2 [C2].

Występowanie zjawisk lodowych oraz ich przebieg na Jeziorze Zegrzyńskim określono na podstawie wyników analiz wizualnych zobrazowań radarowych w kompozycji barwnej RGB. Obrazy uzyskano jako kompozycję barwną RGB z obrazu SAR Sentinel-1, produkt GRDH, przyjmując następujące składowe barw: Red – kanał VH, Green – kanał VV, Blue – kanał VV przekształcony do wartości zapisanych w skali dB. Ocena skoncentrowana jest przede wszystkim na stopniu zachowania barw kompozycyjnych, a także ziarnistości, charakterystycznej dla rozproszenia wstecznego towarzyszącego różnym formom zjawisk lodowych.

W celu ułatwienia interpretacji w sezonie zimowym 2018 r. dokonano także obserwacji naziemnych z dokumentacją fotograficzną zbieżną w czasie lub nieznacznie przesuniętą w stosunku do daty rejestracji obrazów SAR przez satelitę Sentinel-1 (rys. 4.3–4.10). Pozwoliło to powiązać wygląd charakterystycznych rodzajów pokrywy lodowej z ich reprezentacją w postaci jasności i tekstury pikseli na obrazach RGB.

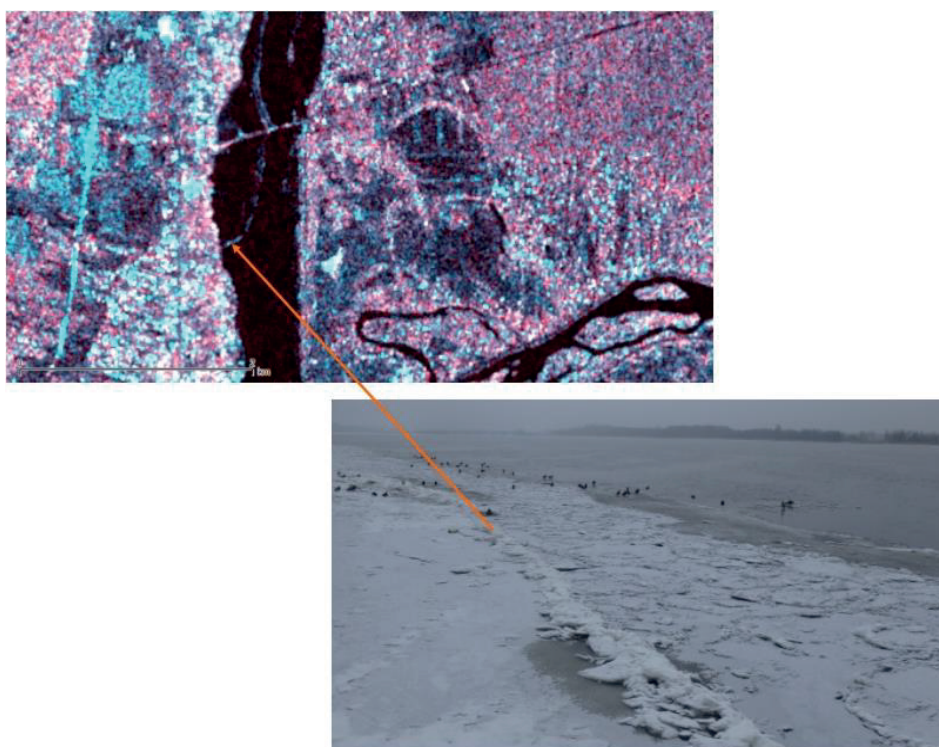


Rys. 4.3. Rzeka wolna od lodu – ujście Bugu do Jeziora Zegrzyńskiego (km 38) 14 II 2018 r. na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz zdjęcie naziemne wykonane w Serocku – widok w stronę ujścia Bugu
Fig. 4.3. Free water of Zegrze Reservoir at Bug river mouth (km 38) 14 II 2018 on SAR Sentinel-1 GRDH image, and ground photo taken in Serock – view toward Bug river



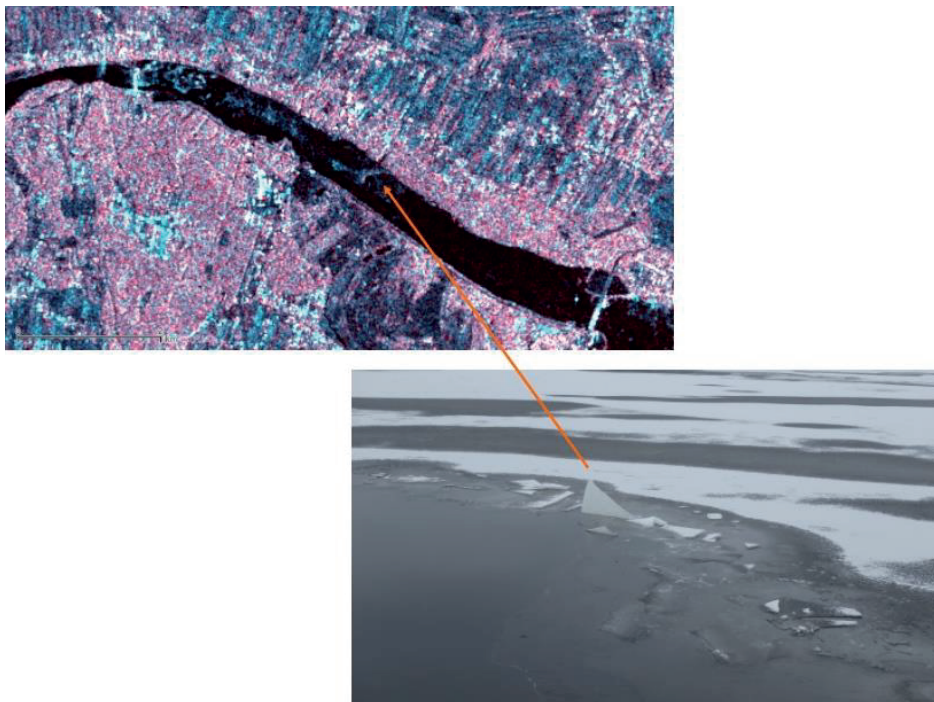
Rys. 4.4. Przetaina w pokrywie lodowej na Jeziorze Zegrzyńskim w Jadwisinie (km 34) 14 II 2018 r.
na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz na zdjęciu naziemnym

Fig. 4.4. Polynya in ice cover of Zegrze Reservoir near Jadwisin village (km 34) 14 II 2018 on SAR
Sentinel-1 GRDH image and on ground photo



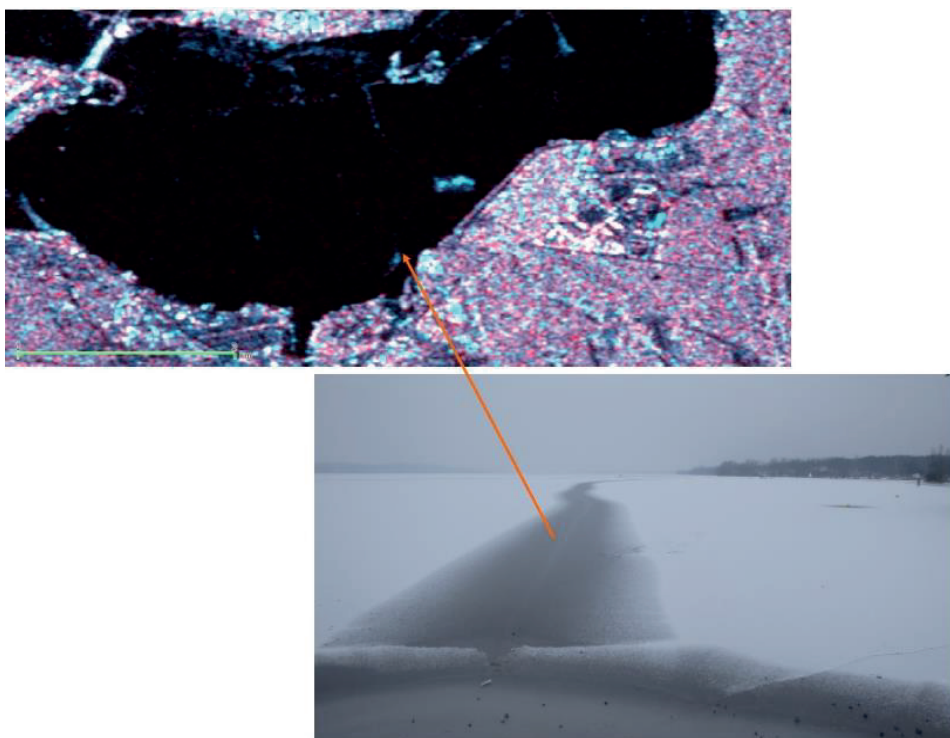
Rys. 4.5. Krawędź lodu brzegowego na Jeziorze Zegrzyńskim w Serocku (km 39) 14 II 2018 r.
na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz zdjęcie naziemne obrazujące spiętrzenie krążków śrżówowych
na powierzchni lodu brzegowego

Fig. 4.5. Edge of shore ice on Zegrze Reservoir in Serock (km 39) 14 II 2018 on SAR Sentinel-1 GRDH
image and ground photo showing pancake ice prism on the surface of shore ice



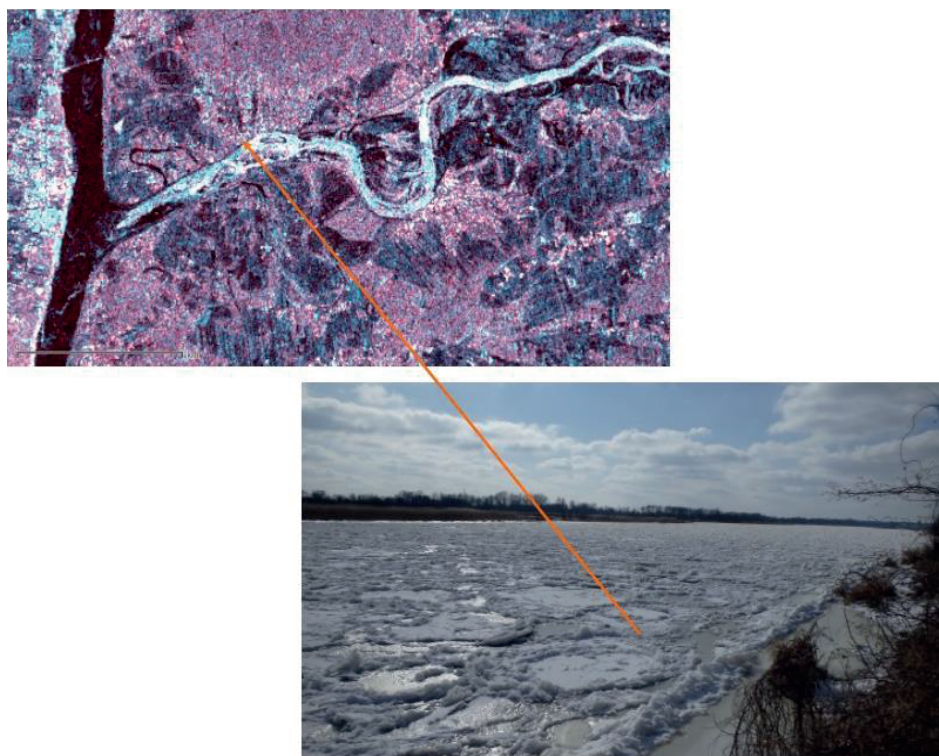
Rys. 4.6. Krawędź lodu brzegowego na Jeziorze Zegrzyńskim w Jachrance (km 25) 14 II 2018 r. na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz zdjęcie naziemne obrazujące spiętrzenie kry na krawędzi stałej pokrywy lodowej

Fig. 4.6. Edge of shore ice on Zegrze Reservoir near Jachranka village (km 25) 14 II 2018 at SAR Sentinel-1 GRDH image and on ground photo showing prism of ice floes at the surface of solid ice cover



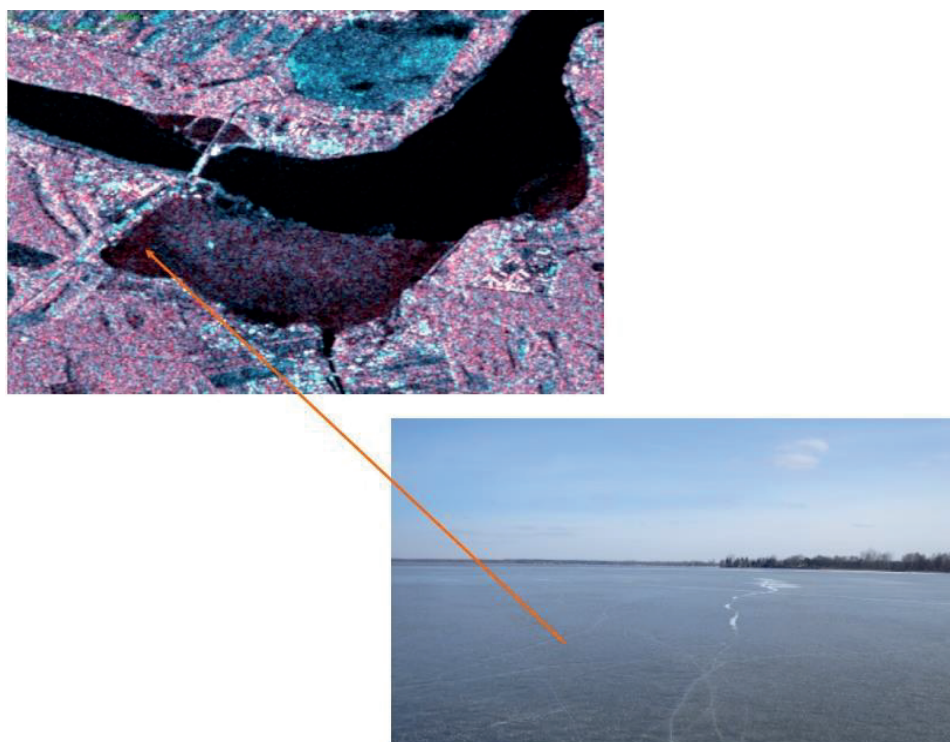
Rys. 4.7. Stała pokrywa lodowa z liniami pęknięć na dużym płosie Jeziora Zegrzyńskiego (km 30) 11 II 2018 r. na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz zdjęcie naziemne

Fig. 4.7. Ice cover with lines of fractures across large basin of Zegrze Reservoir (km 30) 11 II 2018 on SAR Sentinel-1 GRDH image and on ground photo



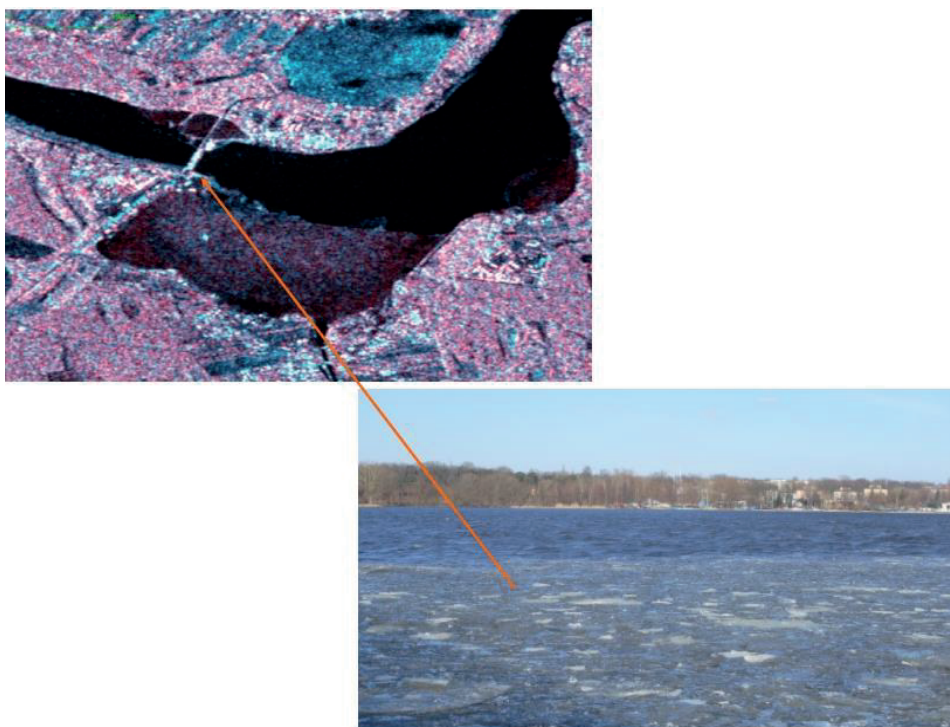
Rys. 4.8. Stała pokrywa lodowa uformowana z krążków śryżowych w ujściu Bugu koło Kani Polskiej (km 3) 26 II 2018 r. na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz zdjęcie naziemne 25 II 2018 r.

Fig. 4.8. Ice cover made of pancake jam at mouth of Bug river near Kania Polska village (km 3) 26 II 2018 on SAR Sentinel-1 GRDH image and on ground photo 25 II 2018



Rys. 4.9. Zanik pokrywy lodowej w głównym plosie Jeziora Zegrzyńskiego (km 29) 19 III 2018 r. na obrazie SAR Sentinel-1 GDR oraz zdjęcie naziemne 17 III 2018 r.

Fig. 4.9. Break-up of ice cover in lacustrine basin of Zegrze Reservoir (km 29) 19 III 2018 on SAR Sentinel-1 GRDH image and on ground photo 17 III 2018



Rys. 4.10. Lewy brzeg Jeziora Zegrzyńskiego w rejonie mostu w Zegrzu Południowym (km 29) 19 III 2018 r. – spływ kry powstałej z rozpadu stałej pokrywy lodowej w dużym plosu na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH oraz zdjęcie naziemne 17 III 2018 r.

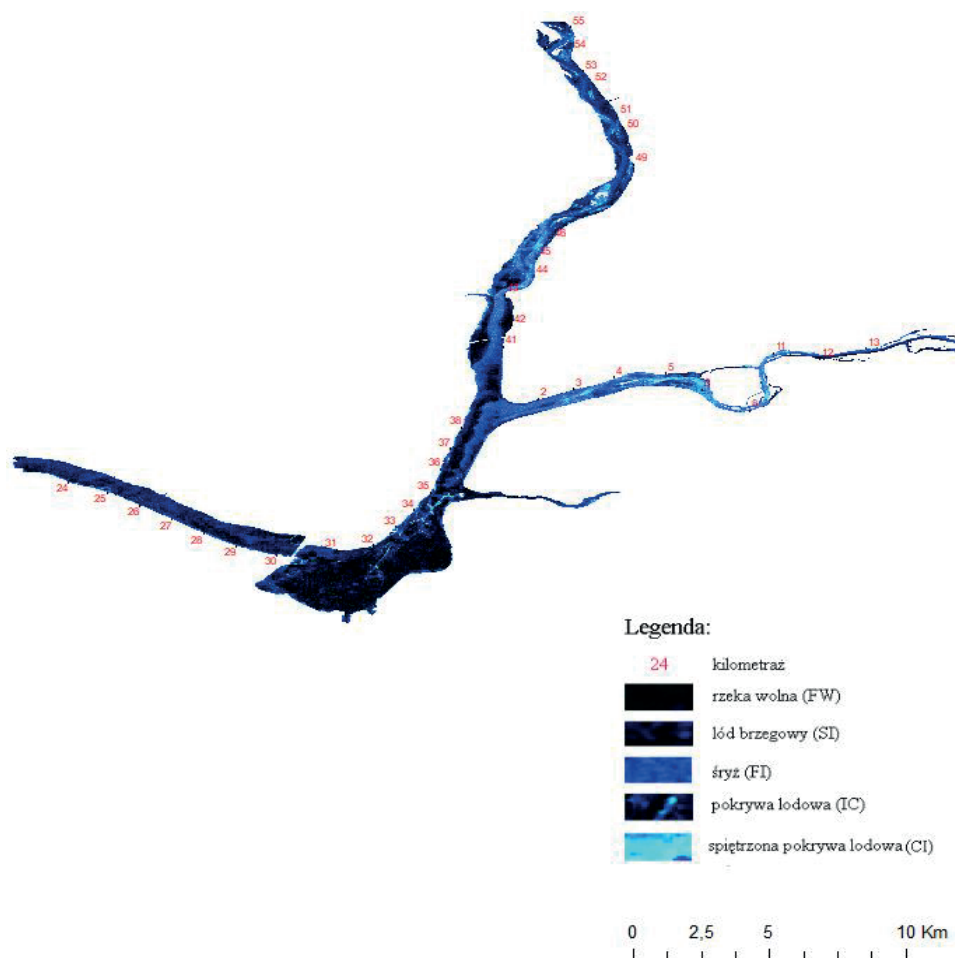
Fig. 4.10. Ice floes run along left bank of Zegrze Reservoir near bridge in Zegrze Południowe (km 29) 19 III 2018 on SAR Sentinel-1 GRDH image and on ground photo 17 III 2018

Do analizy przebiegu zjawisk lodowych na Jeziorze Zegrzyńskim za pomocą obrazów SAR Sentinel-1 z produktu GRDH wykonano trzy mapy obrazujące sytuację lodową w dniach 16, 18 i 19 I 2018 r. W interpretacji obrazów dodatkowym pomocniczym źródłem informacji był komunikat występowania zjawisk lodowych na Narwi z dnia 6 II 2018 r., udostępniony przez RZGW Warszawa.

Na rys. 4.11 pokazano zjawiska lodowe na Jeziorze Zegrzyńskim z dnia 16 I 2018 r. zarejestrowane na obrazie Sentinel-1 w produkcie GRDH. Jest to początkowa faza zjawisk lodowych na Jeziorze Zegrzyńskim, a ich różne formy pokazano w powiększeniu obrazów na rys. 4.12–4.14.

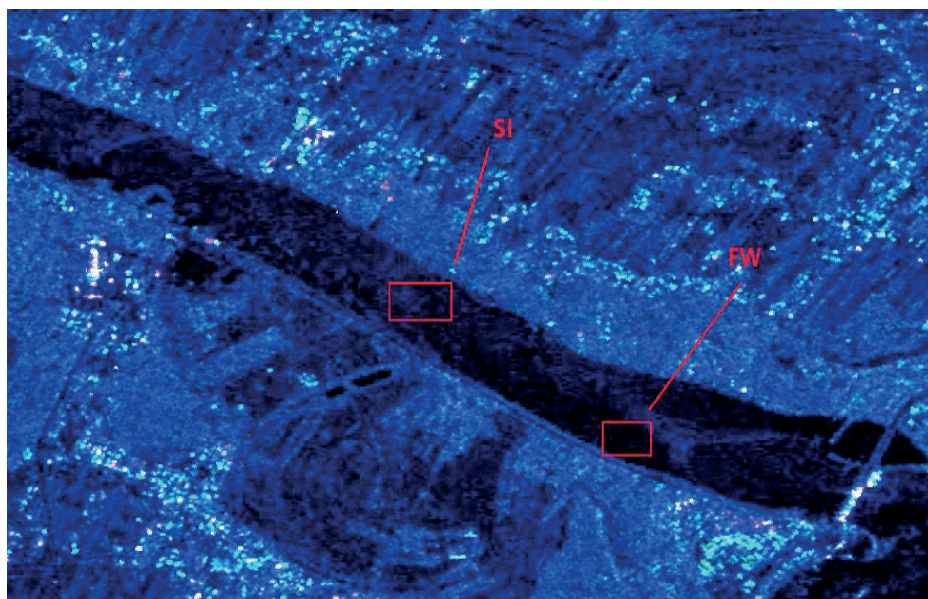
W dniu 16 I 2018 r. na Jeziorze Zegrzyńskim obraz SAR z Sentinela-1 zarejestrował rozproszenie wsteczne charakterystyczne dla kilku typów pokrywy lodowej. Między stopniem wodnym Dębe a Zegrzem Południowym widoczny jest lód brzegowy i fragment rzeki wolnej (rys. 4.12). Na dużym i małym plosu (km 31,0–35,0) uformowała się gładka nowa pokrywa lodowa z charakterystycznymi długimi liniami pęknięć lodu widocznymi jako cienkie, białe linie (rys. 4.13). Od km 35,0–55,0 Narwi obraz SAR Sentinel-1 zarejestrował rozproszenie wsteczne charakterystyczne dla tworzącego się pasa śryżu z towarzyszącym mu lodem brzegowym. Układ strumienia śryżu nawiązuje do przepływu Narwi, wskazując na położenie nurtu.

Na Bugu w odcinku km 0,0–11,0 oprócz pokrywy śryżowej na obrazie SAR Sentinel-1 można zauważyć fragmenty charakteryzujące się intensywnym rozproszeniem wstecznym, świadczącym o powstaniu spiętrzenia lodu (rys. 4.14). Ten odcinek Bugu jest nieuregulowany charakteryzuje się dużą krętością, zmiennością szerokości i występowaniem wysp.



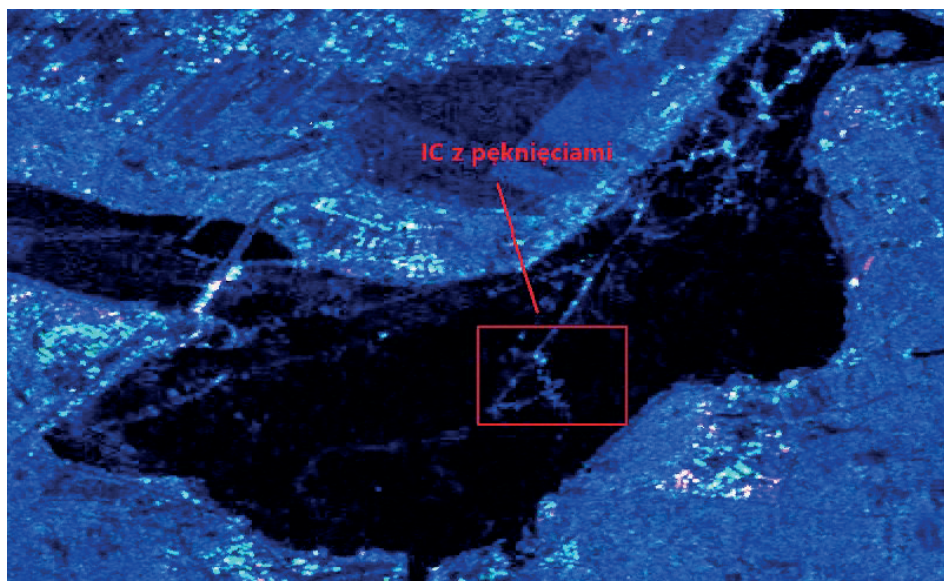
Rys. 4.11. Sytuacja lodowa na Jeziorze Zegrzyńskim na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH z dnia 16 I 2018 r.

Fig. 4.11. Ice situation of Zegrze Reservoir on SAR Sentinel-1 GRDH 16 I 2018 image



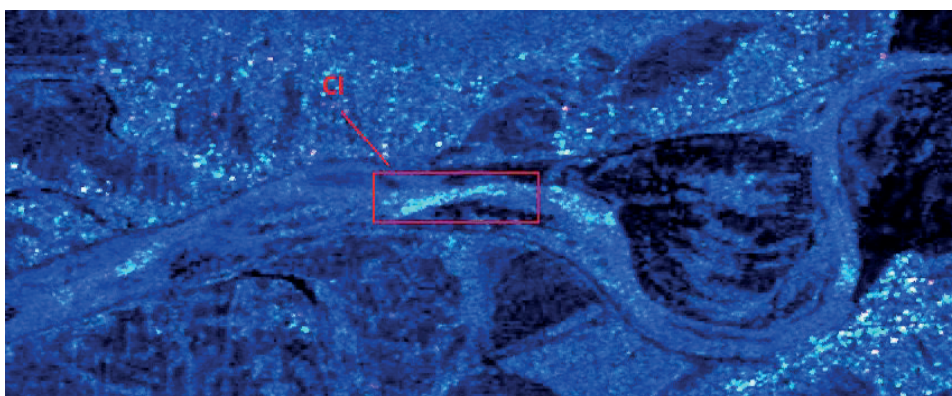
Rys. 4.12. Sytuacja lodowa na Jeziorze Zegrzyńskim (km 21-29) na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH 16 I 2018 r.: FW – rzeka wolna, SI – lód brzegowy

Fig. 4.12. Ice situation of Zegrze Reservoir (km 21-29) on SAR Sentinel-1 GRDH 16 I 2018 image:
FW – free water, SI – shore ice



Rys. 4.13. Sytuacja lodowa na Jeziorze Zegrzyńskim (duże i małe plosy) na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH 16 I 2018 r. : IC – pokrywa lodowa

Fig. 4.13. Ice situation of Zegrze Reservoir (main and small basin) on 16 I 2018 – SAR Sentinel-1 GRDH image: IC – ice cover



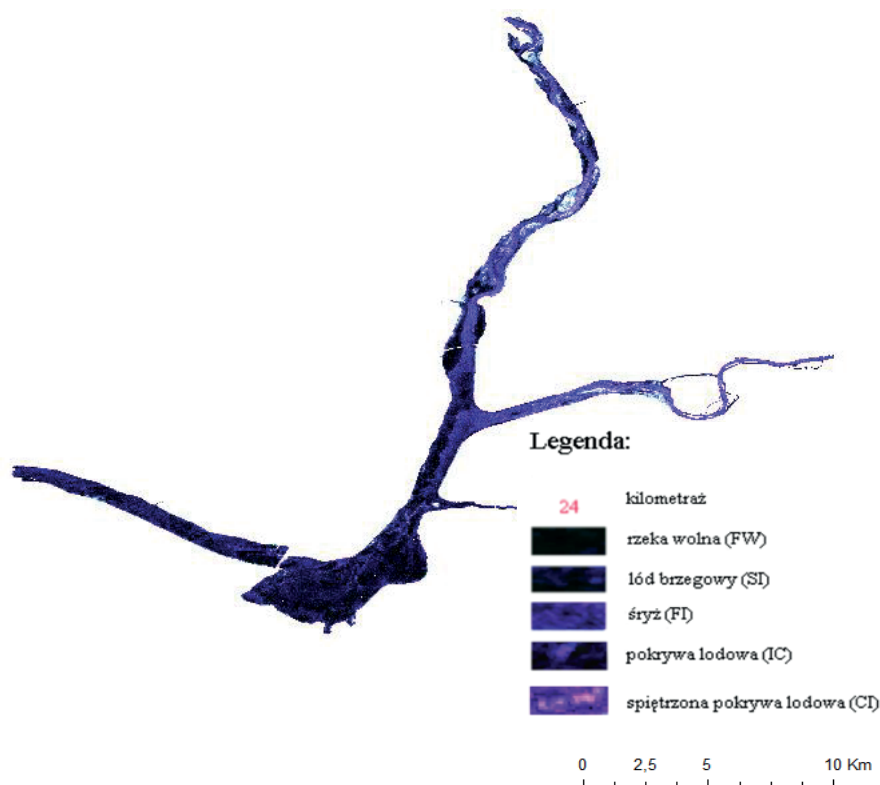
Rys. 4.14. Sytuacja lodowa na Bugu (km 3–12) na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH 16 I 2018 r., CI – spiętrzona pokrywa lodowa

Fig. 4.14. Ice situation on Bug river (km 3–12) SAR Sentinel-1 GRDH image 16 I 2018: CI – consolidated ice

W dniu 18 I 2018 r. w dalszym ciągu na Jeziorze Zegrzyńskim występowały zjawiska lodowe o podobnej charakterystyce zlodzenia jak w dniu 16 I 2018 r. (rys. 4.15).

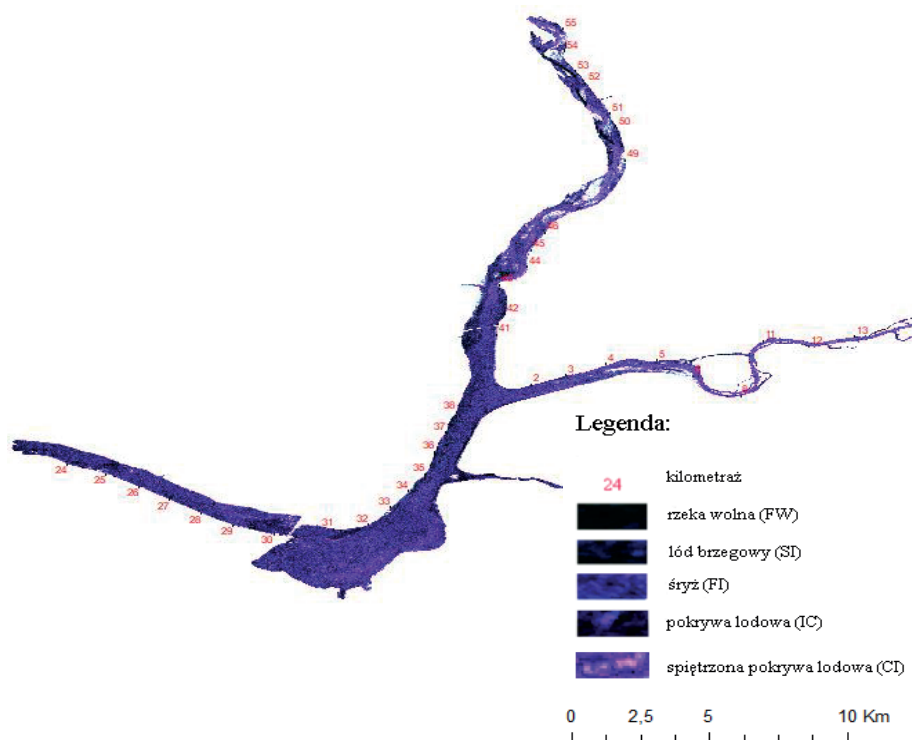
Całkowicie odmienny obraz uzyskano w dniu 19 I 2018 r., gdyż na głównej części Jeziora Zegrzyńskiego został zarejestrowany sygnał przedstawiający pokrywę lodową charakteryzującą się większym rozproszeniem i ziarnistością, co znacznie utrudnia interpretację form pokrywy lodowej (rys. 4.16).

W analizie wykorzystano dane archiwalne IMGW o warunkach pogodowych ze stacji synoptycznej w Legionowie, dotyczące średniej temperatury dobowej powietrza i opadu. W dniu 18 I 2018 r. nastąpiło gwałtowne ocieplenie (rys. 4.17), a dodatkowo zarejestrowano średni opad dobowy o wysokości 8,2 mm.



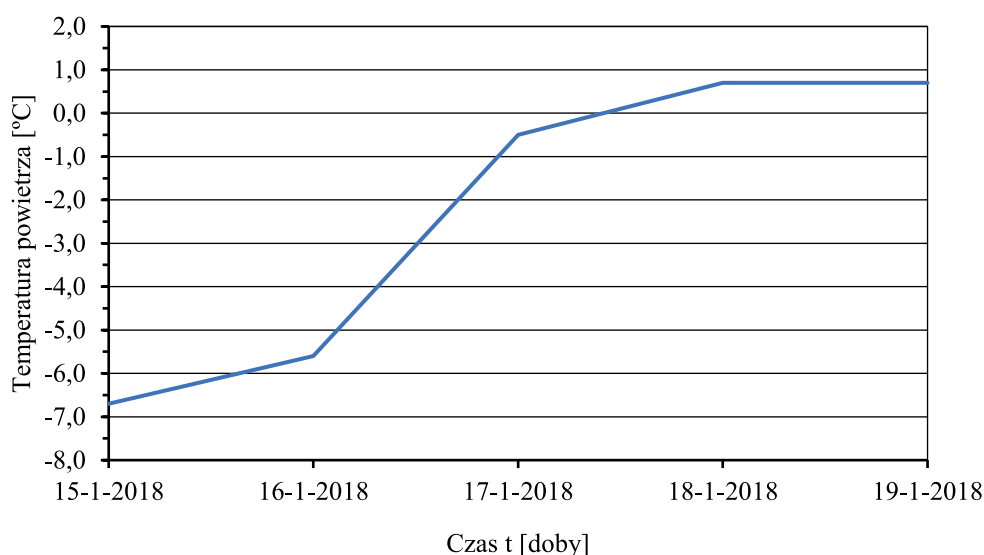
Rys. 4.15. Sytuacja lodowa na Jeziorze Zegrzyńskim na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH z dnia 18 I 2018 r.

Fig. 4.15. Ice situation of Zegrze Reservoir on 18 I 2018 SAR Sentinel-1 GRDH image



Rys. 4.16. Sytuacja lodowa na Jeziorze Zegrzyńskim na obrazie SAR Sentinel-1 GRDH z dnia 19 I 2018 r.

Fig. 4.16. Ice situation of Zegrze Reservoir on 19 I 2018 SAR Sentinel-1 GRDH image .



Rys. 4.17. Średnia dobowa temperatura powietrza w dniach 15-19 I 2018 r. stacja synoptyczna w Legionowie

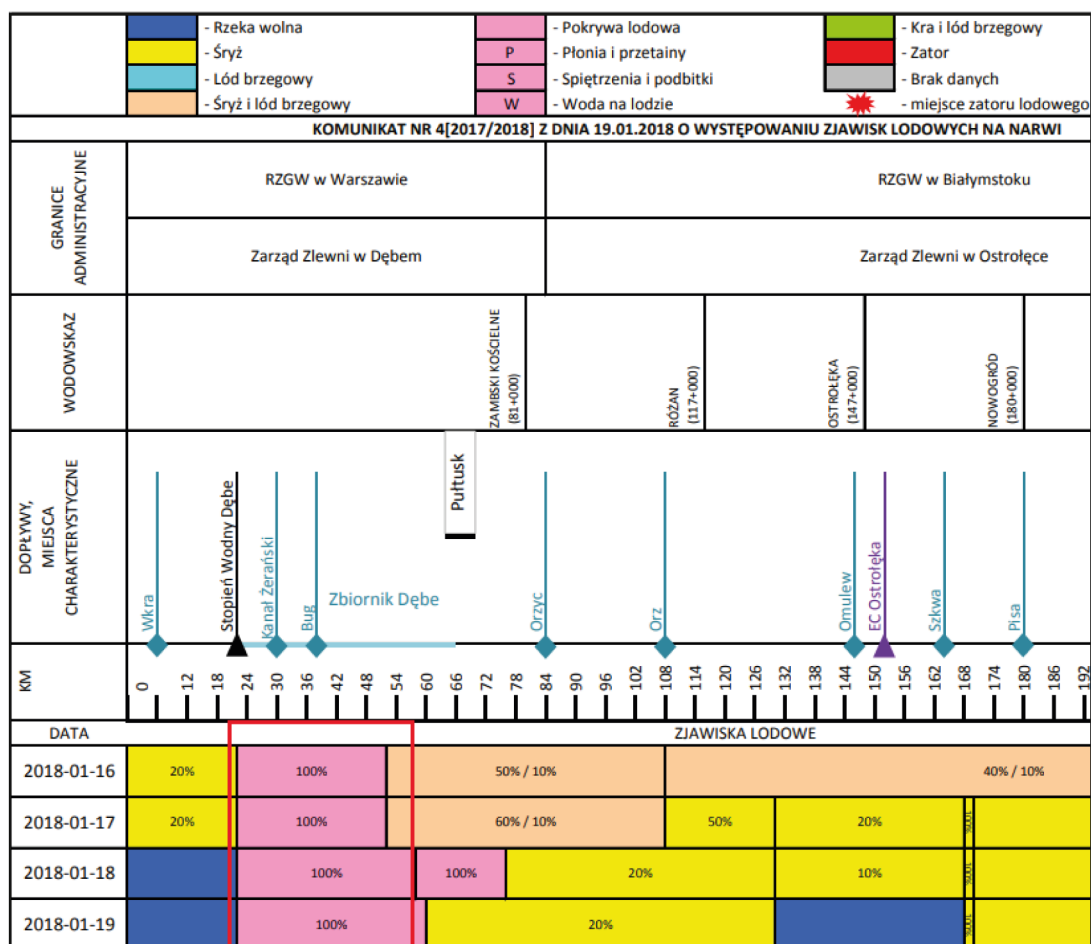
Fig. 4.17. Average daily air temperature in period 15-19 I 2018 at synoptic meteorological station in Legionowo

Na zobrazowaniu radarowym z 19 I 2019 r. można spostrzec zmianę w zarejestrowanym rozproszeniu wstecznym, bowiem zbiornik w km 30,0–36,0 Narwi charakteryzuje większa jasność pikseli i ich ziarnista struktura. Powodem tej zmiany może być faza rozpoczęcia topnienia lodu, w którego strukturze są zawarte pęcherzyki powietrza.

Przydatność obrazów satelitarnych Sentinel-1 do badania zjawisk lodowych na Jeziorze Zegrzyńskim i Bugu można ocenić także przez porównanie uzyskanych wyników do obserwacji naziemnych zawartych w komunikatach lodowych publikowanych przez RZGW Warszawa. Jako przykład wybrano wynik interpretacji polegającej na wyróżnieniu form zjawisk lodowych na kompozycji barwnej RGB uzyskanej z produktu GRDH z komunikatem lodowym dla Narwi z okresu 16–19 I 2018 r. (rys. 4.18).

W dniu 16 I 2018 r. o godz. 6:00 UTC zanotowano dopływ średni do zbiornika wynoszący ok. $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a także odpływ średni wynoszący ok. $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na Narwi zarejestrowano od km 0,0–23,0 pokrywę śryżową (20%), natomiast w km 23,0–52,0 pokrywę lodową (100%), a od km 53,0 do 249,0 śryż z towarzyszącym mu lodem brzegowym (w proporcjach 50% / 10%). Na Bugu z kolei zanotowano obecność pokrywy lodowej w km 0,0–14,0. Porównując te dane ze zobrazowaniami Sentinel-1 można dostrzec znaczące różnice w jasności pikseli dla poszczególnych form lodu. Na zobrazowaniu z dnia 16 I 2018 r. w km 23,0–52,0 (rys. 4.11) zidentyfikowano zróżnicowane pokrywy, bowiem między km 23,0–30,0 rozproszenie wsteczne i ziarnistość są charakterystyczne dla lodu brzegowego z miejscami rzeki wolnej, a od km 36,0–42,0 radar zarejestrował rozproszenie wsteczne pokrywy charakterystyczne dla pasów śryżu i elementów lodu brzegowego.

Na Bugu rozproszenie wsteczne można przypisać pokrywie lodowej typu powierzchniowy zator z krążków śryżowych. Pozostałe miejsca można uznać za zgodne z raportem lodowym. Pokrywa lodowa w plosu Jeziora Zegrzyńskiego, wykazuje niewielkie wartości rozproszenia wstecznego oraz charakterystyczne liniowe spękania, które ułatwiają jej odróżnienie od otwartej wody.



Rys. 4.18. Komunikat lodowy RZGW Warszawa z okresu 16-19 I 2018 r. z zaznaczonym odcinkiem kilometrażu Narwi przyjętym do porównań

Fig. 4.18. Ice report RZGW Warszawa from period 16-19 I 2018 with marked distance of the Narew river taken for comparison

W dniu 18 I 2018 r. o godz. 6:00 UTC zanotowano dopływ średni do zbiornika wynoszący ok. $310 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a także odpływ średni wynoszący ok. $305 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Według komunikatu lodowego RZGW Warszawa na całej długości Jeziora Zegrzyńskiego obserwowano w km 21,0–58,0 występowanie stałej pokrywy lodowej. Podobnie na Bugu w km 0,0–60,0 zidentyfikowano stałą pokrywę lodową. Bazując na zobrazowaniu Sentinel-1 z dnia 18 I 2018 r. (rys. 4.15) ustalono występowanie w km 23,0–30,0 lodu brzegowego wraz z rzeką wolną. Podobnie na km 36,0–43,0, gdzie w dalszym ciągu widoczne jest rozproszenie wsteczne charakterystyczne dla śrzyżu i lodu brzegowego. Analizując również samo ujście Bugu, przy interpretacji wizualnej pierwsze km rzeki zostałyby przyporządkowane do klasy śrzyżu. Pozostałe miejsca są zgodne z zapisem w komunikacie lodowym.

W dniu 19 I 2018 r. RZGW w Warszawie wydało komunikat o występowaniu stanów wód w strefie średnich i wysokich oraz ostrzegawczych i alarmowych. W Pułtusku o godz. 6:00 UTC stan wody wynosił 445 cm, a o godz. 10:00 UTC – 450 cm. Dopływ średni do Jeziora Zegrzyńskiego wynosił $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o godz. 6:00 UTC, a średni odpływ – ok. $280 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Powodem przyrostu stanu wody w Pułtusku był zator, który uformował się w km 55,4–60,0 między Kruczym Borkiem a Kaciami. Widoczny jest on obrazie satelitarnym Sentinel-1 zarejestrowanym w dniu 19 I 2018 r. o godz. 16.19 UTC (rys. 4.16 i 4.19). Kraniec tego zatoru przedstawiono