

BADANIA KLIMATU MIEJSKIEGO GDAŃSKA I GDYNI

Urban climate research in Gdańsk and Gdynia

JANUSZ FILIPIAK*¹ , MIROSŁAW MIĘTUS*² 

Zarys treści. W pracy przedstawiono krótką historię oraz rezultaty badań klimatu Gdańska i Gdyni. Początek badań klimatu Gdańska wiąże się z rozpoczęciem pomiarów i obserwacji meteorologicznych w 1739 roku. W ostatnich dekadach XIX wieku bardzo wzrosło znaczenie badań klimatu miasta na rzecz zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi i pracy portu. W dwudziestoleciu międzywojennym funkcjonowały w Gdańsku i Gdyni duże obserwatoria meteorologiczne. Prowadzono wówczas prace na rzecz rozpoznania lokalnych warunków klimatycznych, w tym zjawiska bryzy morskiej. W okresie powojennym podjęto zaawansowane badania terenowe pozwalające na określenie charakterystycznych cech przestrzennej zmienności elementów meteorologicznych w Gdyni i Gdańsku. Ostatnie dekady XX wieku oraz obecne czasy to prace z zakresu klimatologii stosowanej obszarów zurbanizowanych.

Słowa kluczowe: klimat miasta, bryza morska, klimatologia stosowana obszarów zurbanizowanych, Gdańsk, Gdynia

Abstract. A short history and the results of urban climate research in Gdańsk and Gdynia are presented in the paper. The initial research of Gdańsk's climate was associated with the early beginning of meteorological measurements in 1739. In the last decades of the 19th century, the importance of studies devoted to ensuring the safety of shipping and harbour activity increased significantly. The interwar period was characterized by great development of meteorological observatories in Gdańsk and Gdynia. The research efforts were particularly dedicated to the recognition of local climatic conditions, including the phenomenon of sea breeze. In the post-war period, advanced field research was undertaken to characterize the characteristic features of spatial variability of meteorological elements in Gdynia and Gdańsk. Various aspects of applied urban climatology are present in the research of the last decades of the 20th century and present times.

Key words: urban climate, sea breeze, applied urban climatology, Gdańsk, Gdynia

Wprowadzenie

Zainteresowanie problematyką klimatu miasta badaczy gdańskiego, a w późniejszym czasie także gdyńskiego ośrodka naukowego związane było z efektami oddziaływania obszarów zurbanizowanych na lokalne warunki klimatyczne jedynie we wspomnianych dwóch miastach aglomeracji trójmiejskiej. Historia Gdyni jest jednak nieporównanie krótsza (blisko 100 lat) niż Gdańska (ponad 1000 lat). Pomimo burzliwej historii Gdańska (liczne zmiany granic państwowych i związanej z tym przynależności administracyjnej, z okresami odrębnego funkcjonowania włącznie) wysiłki naukowe środowiska gdańskich fizyków, meteorologów i klimatologów przynosiły wymierny efekt badawczy. Dynamiczny rozwój Gdyni, zapoczątkowany krótko po odzyskaniu przez Polskę niepodległości w 1918 roku, dał z kolei impuls do

naukowych obserwacji powstającego w szybkim tempie ośrodka miejskiego. Poczynione w tym duchu badania wnoszą ważny wkład w rozpoznanie warunków klimatycznych miasta położonego w sąsiedztwie dużego zbiornika morskiego, którego oddziaływanie stanowi istotny aspekt klimatu całego regionu Wybrzeża.

Praca poniższa ma na celu krótki przegląd historii badań nad klimatem Gdańska i Gdyni oraz przedstawienie ich najważniejszych rezultatów.

Początki badań pogody i klimatu w Gdańsku

Dokładną historię obserwacji i pomiarów meteorologicznych przedstawiono w licznych opracowaniach (Miętus i in. 1994, 2007; Filipiak 2011; Filipiak i in. 2019). Prace nad rekonstrukcją serii pomiarowej z Gdańska trwają jednak stosun-

* Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii, Katedra Meteorologii i Klimatologii, ul. Bażyńskiego 4, 80-364 Gdańsk; e-mail: filiipiak@ug.edu.pl; ¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4491-3886>; ² ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9488-071X>

kowo krótko w porównaniu z innymi miastami, więc za naturalne należy uznać, że stale dokonywane są nowe odkrycia oraz precyzowany jest kontekst ustaleń niedawno stwierdzonych faktów. Z tego względu w pracy warto wspomnieć jedynie o faktach, które nie zostały jeszcze opisane.

Udokumentowany początek regularnych pomiarów i obserwacji meteorologicznych w Gdańsku przypada na 1 stycznia 1739. Członkowie ówczesnego Gdańskiego Towarzystwa Przyrodniczego (niem. *Naturforschende Gessellschaft in Danzig*) rozpoczęli wówczas trwające nieprzerwanie do czasów obecnych pomiary kilku elementów meteorologicznych i obserwacje zjawisk pogodowych. Najnowsze odkrycia dokonane przez jednego z autorów pracy wskazują jednak, że pierwsze pomiary temperatury powietrza oraz obserwacje burz w Gdańsku miały miejsce już w początkach XVIII wieku. Zapisy kronik oraz zgromadzone w różnych archiwach notatki wskazują na szczególnie ożywioną działalność badaczy gdańskich zwłaszcza w latach 1709, 1717 i 1729 (Filipiak, badania własne).

W grudniu 1721 roku wnikliwe obserwacje pogody zapoczątkował botanik Gottfried Reyger (Filipiak i in. 2019). Kontynuował je systematycznie aż do czerwca 1786 roku, w ostatnich dekadach posiłkując się też wynikami własnych pomiarów instrumentalnych (przyczynianych jednak bardzo wrywkowo). Dzięki częstemu porównywaniu rezultatów pomiarów i obserwacji prowadzonych zarówno w mieście, jak i w swojej podmiejskiej posiadłości Reyger przedstawił szereg poglądów na temat specyfiki warunków klimatycznych w mieście (Reyger 1770, 1788). Na temat możliwego wpływu zabudowy na wartość mierzonej temperatury pisał: „*Musi jednak termometr, aby ciepła powietrza za wysokiego nie pokazywać, być uwolniony od wszystkich promieni słońca odbijanych przez inne budynki, i gdzie możliwe z północnego zachodu wolny dostęp powietrza mieć. Powietrze przez promienie odbijane z dachów i murów jest bardziej podgrzewane, niż to w cieniu na wolnej przestrzeni*”. Swoje spostrzeżenia na temat modyfikacji temperatury powietrza przez miasto Reyger przedstawił następująco: „*Jest ciężko około tej pory roku (lata – przyp. autorów) właściwą wielkość nocnego zimna stwierdzić, ponieważ w mieście nie jest ono tak zauważalne, jak na polach, i ponieważ przy wschodzie słońca wkrótce one znowu zanikają*”, następnie: „*... w ogrodach uczyniono obserwacje, gdzie działanie świeżego powietrza jest bardziej zauważalne niż w mieś-*

cie”, jak również: „*... kilka innych nocy były również poza miastem nocne mrozy, które jednak w mieście między domami nieznaczne były*”. Nie nazywając więc wprost zjawiska określonego w późniejszej literaturze przedmiotu mianem miejskiej wyspy ciepła Reyger przedstawił jego istotę. Dodatkowo, określił też specyfikę oddziaływania na temperaturę powietrza terenów zielonych. W innych miejscach swoich prac Reyger, bazując na wynikach obserwacji mgieł skomentował przestrzenną zmienność wilgotności w mieście i poza nim.

Pomiary i obserwacje w Gdańsku prowadzono przeważnie z wielką dbałością o ich jakość i dokładność. W pierwszej połowie XIX wieku wykonywano je zgodnie z regułami *Societas Meteorologica Palatina*. Z chwilą powstania w 1847 roku Pruskiego Instytutu Meteorologicznego (niem. *Preussische Meteorologische Institut*) przyjęto zasady wprowadzone przez tę instytucję. W początku XIX wieku pojawiły się też pierwsze analizy warunków klimatycznych miasta oparte o wyniki pomiarów instrumentalnych. Johann Heinrich Westphal w 1820 roku wykazał, że średnia roczna temperatura powietrza w Gdańsku, obliczona na podstawie wartości z 81 lat (1739–1819) wynosi +5,45 stopni Réaumur (6,8°C) (Westphal 1820). Szczegółową charakterystykę zakresu zmienności szeregu elementów meteorologicznych w oparciu o własne, wykonywane w latach 1807–1824 pomiary przedstawił z kolei Johann Gottfried Kleefeld (Kleefeld 1826). Stephen Neumann (1871, 1873) pobieżnie scharakteryzował wyniki pomiarów temperatury powietrza z lat 40. XIX wieku prowadzonych codziennie w odstępach dwugodzinnych przez innego z obserwatorów, Friedricha Strehlke’go, początkowo rano od godziny 8.00, później od godziny 6.00, do godziny 22.00.

Meteorologia w służbie gospodarki Gdańska – okres od 1876 roku

W 1876 roku rozpoczął się nowy etap działalności stacji gdańskiej – w dzielnicy portowej Nowy Port (ówcześnie Neufahrwasser), poza obrębem gęsto zabudowanego i zaludnionego historycznego centrum miasta. Była to dobrze wyposażona stacja Niemieckiego Obserwatorium Morskiego (Norddeutsche Seewarte). Rozpoczęto również szczegółową rejestrację poziomu morza. Można dostrzec, że Gdańsk stał się jednym z pierwszych w Europie ośrodków, w których główną stacją meteorologiczną miasta wyprawdano poza ścisłe centrum do dzielnicy o zdecydowanie mniejszej intensywności zabudowy. Choć

przez kilka lat w centrum miasta działał równolegle dotychczasowy posterunek, nie przeprowadzono wówczas żadnych analiz porównawczych. Rozpoczęcie pomiarów meteorologicznych w dzielnicy portowej było ściśle związane z rozwojem portu gdańskiego. Wraz ze stacją meteorologiczną rozpoczęła bowiem działalność ostrzegalnia sztormowa, korzystająca z wyników stacji gdańskiej oraz innych tzw. stacji sygnałowych na południowym wybrzeżu Morza Bałtyckiego (Miętus i in. 1994; Filipiak, badania własne).

W końcówce lat 80. XIX wieku na terenie Gdańska zaczęły licznie powstawać posterunki opadowe zarządzane przez Pruski Królewski Instytut Meteorologiczny. Na przełomie XIX i XX wieku w Gdańsku funkcjonowało łącznie blisko 10 posterunków opadowych. Informacje pozyskiwane z gęstej sieci posterunków opadowych, choć o zróżnicowanej jakości, posłużyły w opracowaniu schematu regulacji skomplikowanych stosunków wodnych w obszarze zlewni Dolnej Wisły (za: Makowski 1993). Na podstawie rezultatów analiz statystycznych zmienności czasowej opadów w tym regionie oraz stanów wód na wodowskazach w Toruniu, Grudziądzu, Tczewie i Gdańsku zaprojektowano wysokość wałów oraz szerokość międzywała w trakcie budowy Przekopu Wisły zapewniającego bezpieczeństwo przeciwpowodziowe Gdańska oraz zlewni Dolnej Wisły (Makowski 1993). Ponownie jednak nie skorzystano z możliwości przeprowadzenia analizy klimatologicznej ukazującej przestrzenną zmienność opadu atmosferycznego na terenie miasta.

Dwudziestolecie międzywojenne i II wojna światowa

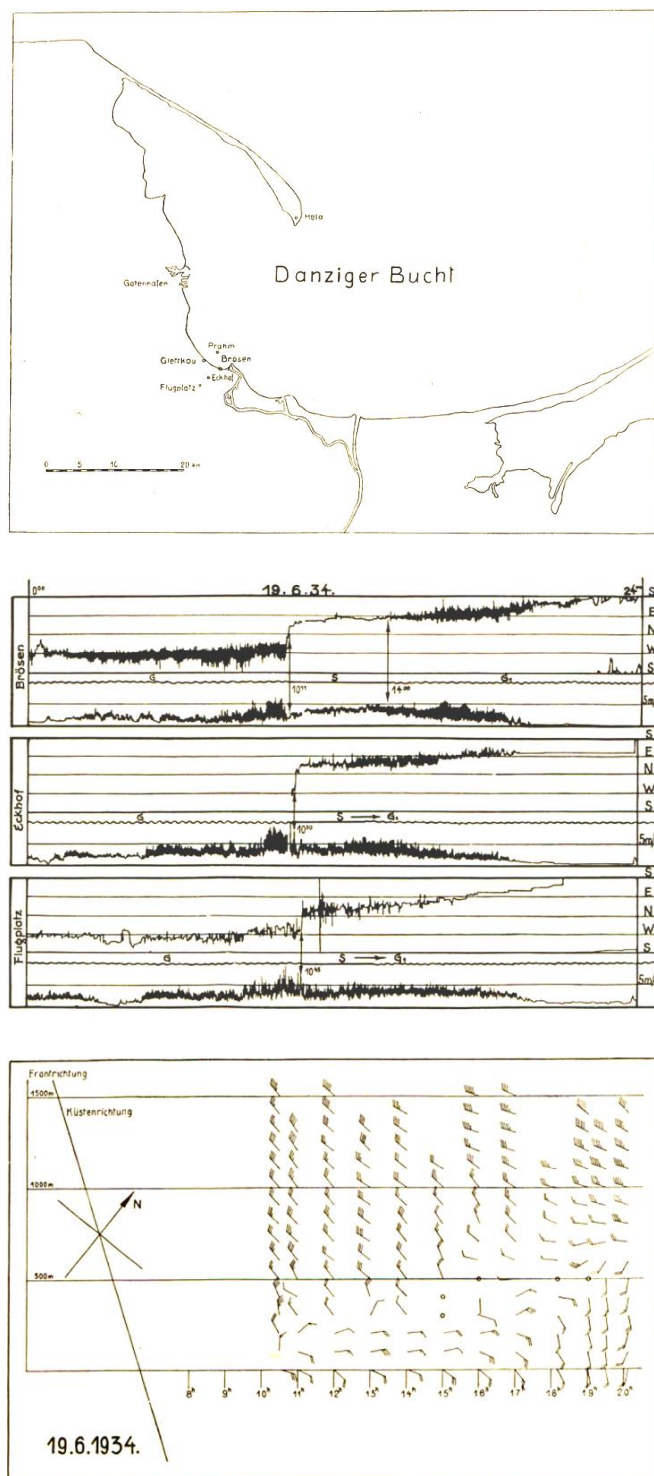
Chwila odzyskania przez Polskę niepodległości oraz utworzenie Wolnego Miasta Gdańska w 1918 roku stały się początkiem nowego etapu w badaniach warunków klimatycznych Gdańska. Decyzje władz państwa polskiego doprowadziły z kolei również do rozpoczęcia procesu szybkiego przekształcenia Gdyni z małej wioski rybackiej w duże miasto. Współistnienie w atmosferze politycznej rywalizacji blisko siebie położonych dwóch dużych miast, doprowadziło do dynamicznego rozwoju badań naukowych w zakresie meteorologii i klimatologii w obydwu ośrodkach.

Dotychczasową stację niemiecką w Nowym Porcie zastąpiła polska placówka – Wydział Morski Państwowego Instytutu Meteorologicznego (PIM). Niemal równolegle w pobliżu gdańskiego lotniska cywilnego powstało z kolei Miejskie

Obserwatorium Meteorologiczne (Statlische Meteorologische Observatorium) Wolnego Miasta Gdańska. Jego pracownicy nadzorowali obserwacje i pomiary meteorologiczne prowadzone w kilkudziesięciu punktach na obszarze Wolnego Miasta oraz realizację programu pomiarów aktywnometrycznych, prowadzili także studia nad lokalnymi warunkami klimatycznymi.

Typowe cechy klimatu obszarów zurbanizowanych, jak m.in. obecność miejskiej wyspy ciepła, modyfikacje prędkości wiatru, czy też mniejsza wilgotność względna i równoczesny wzrost sum opadów atmosferycznych w stosunku do obszarów pozamiejskich (Oke i in. 2017) są w przypadku miast nadmorskich modyfikowane przez oddziaływanie zbiornika morskiego. W przypadku Gdańska o specyfice lokalnego klimatu decyduje położenie nad stosunkowo głębokim akwenem Zatoką Gdańską. Występowanie stromo zarysowanej wysoczyzny po zachodniej stronie miasta powoduje dodatkowo, że bezpośrednie oddziaływanie morza jest obserwowane jedynie na obszarze równiny nadmorskiej, na której położone są główne dzielnice miasta (Korzeniewski 1994). U podstaw szeregu prac studialnych pracowników obserwatorium gdańskiego znalazła się więc potrzeba kompleksowej analizy uwarunkowań środowiskowych klimatu Gdańska.

Do największych osiągnięć przełomu lat 20. i 30. ubiegłego stulecia na polu rozpoznania lokalnych warunków klimatycznych w Gdańsku można zaliczyć dokładne studia nad strukturą pola wiatru w mieście oraz wpływem na nie linii brzegowej i moren. Wiele wysiłku poświęcono też badaniom pionowego profilu wiatru nad morzem i w strefie kontaktu morze-łąd. Wyniki tych badań publikowano w ramach zeszytów *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* (m.in. Koschmieder 1928; Rühle 1935). Na podstawie rezultatów specjalnych pomiarów, głównie aerologicznych oraz patrolowych dyrektor gdańskiego obserwatorium Harald Koschmieder przedstawił tezę o frontowym charakterze bryzy morskiej (front chłodny jako wyraźna linia graniczna między wiatrem lądowym i morskim) (Koschmieder 1936). Inne z rezultatów prac tego autora (Koschmieder 1941) charakteryzowały obszar Wysoczyzny Kaszubskiej jako narażony na niekorzystne warunki termiczne i wilgotnościowe w porównaniu z terenami nadmorskimi. Paradoksalnie, kilkadziesiąt lat później władze polskie podjęły decyzję o lokalizacji na tym terenie nowego portu gdańskiego lotniczego (miejsowość Rębichowo), przenieszonego z nadmorskiej dzielnicy Wrzeszcz.



Rys. 1. Przebieg bryzy morskiej w Gdańsku w dniu 19 czerwca 1934 roku

w górnym panelu (pod mapą posterunków) przedstawiono zmienność kierunku i prędkości wiatru na posterunkach: Brösen, Eckhof i Flugplatz (objaśnienia w tekście); w dolnym panelu profile wiatru (kierunek i prędkość) do wysokości 1500 m uzyskane z godzinnych pilotaży balonowych pomiędzy godzinami 8.00 i 20.00 na stacji Wrzeszcz Lotnisko (za: Koschmieder 1936)

The course of the sea breeze in Gdańsk on June 19, 1934

in the upper panel (under the map of posts), the variability of wind direction and speed is presented at the following posts: Brösen, Eckhof and Flugplatz (explanations in the text); in the lower panel, wind profiles (direction and speed) obtained up to an altitude of 1500 m from balloon ascents taken in an hourly manner between 8 a.m. and 8 p.m. at the Wrzeszcz Airport station (after: Koschmieder 1936)

Rezultaty badań H. Koschmiedera przeprowadzonych 19 czerwca 1934 roku, dokumentujących szczegółowy przebieg bryzy morskiej, zostały przedstawione na rys. 1. Pomiaru kierunku i prędkości wiatru dokonywano w trzech punktach: Brösen (obecnie Brzeźno) położonym w sąsiedztwie linii brzegowej, Eckhof (Zaspa), oddalonym 1 km od morza i Flugplatz (Wrzeszcz Lotnisko), zlokalizowanym w odległości ok. 2,5 km od morza. Na stacji lotniskowej co godzinę w ciągu dnia wykonywano pilotaż balonowy, uzyskując informacje o kierunku i prędkości wiatru do wysokości 1500 metrów. Zmianę struktury kierunkowej wiatru można zauważyć około godziny 9.30 na posterunku położonym w sąsiedztwie linii brzegowej. Odpowiednio kilkanaście i kilkadziesiąt minut później zaczął zmieniać się kierunek wiatru w lokalizacjach bardziej oddalonych od morza. Prędkość bryzy początkowo znikoma, z czasem wzrosła do około $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zasięg pionowy cyrkulacji bryzowej na lotnisku, początkowo ograniczony do wysokości nie większej niż 200 metrów, sięgnął w kulminacyjnym momencie (około godziny 16.00) nawet kilkuset metrów.

W badaniach bilansu promieniowania słonecznego badacze gdańscy wykorzystywali najnowocześniejszą dostępną wówczas aparaturę. Początkowo (od 1928 roku) pomiary prowadzono jedynie w podległej gdańskiemu obserwatorium placówce aktynometrycznej w Sopocie. W 1931 roku przyrządy zainstalowano również w obiekcie samego Obserwatorium. Na podstawie wyników przeprowadzonych analiz Frischmuth (1935, 1938) przedstawił swoje spostrzeżenia na temat bilansu promieniowania słonecznego w Gdańsku. Nie wykrył zauważalnej redukcji strumienia promieniowania krótkofalowego wywołanej oddziaływaniem miasta. Porównując z kolei wyniki swoich pomiarów z analogicznymi wartościami z Poczdamu, zauważył natomiast słabiej zarysowane jesienne maksimum przejrzystości powietrza w Gdańsku. Fakt ten wynikał jednak, zdaniem tego badacza, z uwarunkowań makroskalowych, a nie właściwości obszaru miejskiego.

Stale rosnąca ilość materiału badawczego skłaniała badaczy gdańskich do wykonywania opracowań monograficznych o charakterze klimatologicznym. Johann Staben w 1927 roku w pracy *Zum Klima von Danzig-Neufahrwasser (O klimacie Gdańska Nowego Portu)*, na podstawie zebranych danych pomiarowo-obserwacyjnych z lat 1876–1925 dokonał obszernej charakterystyki statystyczno-klimatologicznej Gdańska. Wśród opisanych elementów znalazły się: ciśnienie atmosferyczne, temperatura powietrza, opad atmosferyczny, kierunek i prędkość wiatru, zachmurzenie, wilgotność względna. Na niskie wartości średniego rocznego ciśnienia atmosferycznego wpływ miała duża frekwencja sztormów, które dodatkowo powodowały intensyfikację prędkości wiatru. Średnia roczna amplituda temperatury powietrza nie przekraczała 18°C , na co wpływ miała stosunkowo ciepła zima ze średnią temperaturą miesięczną najzimniejszych miesięcy – stycznia i lutego rzędu -1°C oraz raczej chłodne lato z temperaturą lipca i sierpnia na poziomie około 17°C . Ponadto autor zaprezentował rezultaty analizy częstości występowania szeregu zjawisk meteorologicznych. Średnio w roku występowało ok. 160 dni z opadem, z czego blisko 120 przypadków dotyczyło deszczu. Stosunkowo często w Gdańsku występowała mgła, rzadkie natomiast były burze. Tytułem wyjaśnienia można dodać, że Staben nie korzystał z danych polskich. Okres po 1919 roku uzupełnił wartościami z lotniska w Gdańsku Wrzeszczu.

Kilka lat później ten sam autor przedstawił pracę *Die Niederschlagsverteilung im Gebiet der Freien Stadt Danzig (Rozkład opadów na terenie Wolnego Miasta Gdańska)* (Staben 1938). Staben przeanalizował w tym wypadku przestrzenny rozkład wysokości sum opadów mierzonych w gęstej sieci posterunków na terenie Gdańska. Wskazał istotne zwiększanie się rocznych sum opadów atmosferycznych wraz ze wzrostem odległości od linii brzegowej, któremu towarzyszyło jednoczesne zwiększenie wyniesienia nad poziom morza. Największe sumy roczne, wynoszące ponad 600 mm notowane były więc w wysuniętych najdalej na zachód dzielnicach miasta, położonych jednocześnie na Wysoczyźnie Kaszubskiej. Nieco mniejsze opady występowały w strefie krańdziejowej tej jednostki fizycznogeograficznej. Na równinie nadmorskiej padało rocznie średnio niespełna 550 mm.

W przypadku działań polskich należy podkreślić wzrost znaczenia placówki nadmorskiej PIM. Choć stację w Nowym Porcie zamknięto z końcem czerwca 1929 roku, to zadania koordynacji pomiarów meteorologicznych i badań klimatologicznych na Wybrzeżu przejęło utworzone w Gdyni w 1927 roku Obserwatorium Morskie PIM. Nadzorowało ono dobrze wyposażoną i zorganizowaną sieć pomiarowo-obserwacyjną na terenie wybrzeża II Rzeczypospolitej. Warto w tym miejscu poinformować, że pierwsza stacja meteorologiczna w Gdyni rozpoczęła pracę już wcześniej – w 1923 roku nieopodal kapitanatu dynamicznie budowanego portu gdyńskiego (Miętus i in. 1994).

W okresie przedwojennym nie wykonano niestety żadnej kompleksowej analizy klimatologicznej Gdyni. Dane z Gdyni wykorzystywano jednak dość wszechstronnie – przykładowo w dość licznych analizach usłonecznienia na Wybrzeżu (np. Gorczyński 1939). Posługiwano się w takich wypadkach rezultatami pomiarów prowadzonych przez placówkę PIM już od 1920 roku. Stację polską w Nowym Porcie wyposażono bowiem w nowoczesne przyrządy do pomiaru i rejestracji usłonecznienia oraz natężenia promieniowania słonecznego. W 1927 roku instrumenty te przeniesiono do gdyńskiego Obserwatorium Morskiego. Warto dodać, że poza walorem czysto poznawczym, badaniom klimatu solarnego Gdyni przyświecał praktyczny cel społeczny. Wykazując, że warunki solarne na południowym wybrzeżu Bałtyku są korzystne dla celów rekreacyjnych, promowano Gdynię jako dogodne miejsce dla wypoczynku letniego Polaków.

Wybuch II wojny światowej spowodował wstrzymanie pomiarów i obserwacji w Obserwatorium Morskim w Gdyni na kilkanaście miesięcy. Rutynowa służba obserwacyjna w tej placówce rozpoczęła się ponownie z początkiem 1941 roku. Obserwatorium w Gdańsku pracowało w tym czasie bez zakłóceń. Niezmiennie funkcjonowały również posterunki opadowe sieci pomiarowej dawnego Wolnego Miasta Gdańska. Cała infrastruktura pomiarowa uległa jednakże poważnym zniszczeniom w początku 1945 roku.

Okres powojenny i współczesny

Przez pierwszych kilkadziesiąt miesięcy po zakończeniu II wojny światowej trwała odbudowa po zniszczeniach. Począwszy od czerwca 1945 roku (wznowienie działalności stacji gdyńskiej) do stycznia 1952 roku na terenie dzisiejszego Trójmiasta uruchomiono łącznie pięć dużych stacji pomiarowych synoptycznych i klimatologicznych. Odzwierciedlały one warunki charakterystyczne dla wszystkich mezoregionów, na terenie których położone było Trójmiasto (Pojezierze Kaszubskie wraz z jego strefą krawędziową, Pobrzeże Kaszubskie, Żuławy Wiślane oraz Mierzeję Wiślaną – za: Solon i in. 2018).

Stosunkowo gęsta sieć posterunków meteorologicznych dała możliwość wznowienia badań przestrzennego zróżnicowania warunków klimatycznych na obszarze Trójmiasta. Pionierskie prace powojenne na rzecz rozpoznania specyfiki klimatu Wybrzeża i miast nadmorskich poczyniły Krystyna Kwiecień (Lechowicz-Kwiecień) i Danuta Wielbińska z PIHM, późniejszego IMGW.

Lechowicz-Kwiecień (1961) uaktualniła stan wiedzy na temat usłonecznienia Gdyni, bazując głównie na najnowszym, powojennym materiale pomiarowym. W innej pracy ta sama autorka (Kwiecień 1968) przedstawiła studium na temat silnej zależności zmienności warunków klimatycznych na Wybrzeżu i Pomorzu od stosunków anemometrycznych. Występowanie dodatnich, bądź ujemnych anomalii danego elementu meteorologicznego w Gdańsku i okolicznych obszarach można wiązać z występowaniem wiatrów z określonego kierunku. Związek ten jest szczególnie widoczny w przypadku anomalii termicznych. Wielbińska (1962) skoncentrowała się natomiast na analizie pola opadów atmosferycznych w obrębie Wybrzeża.

Materiał pomiarowo-obserwacyjny z posterunków PIHM, późniejszego IMGW z lat 1951–1980 został wykorzystany przez zespół Jerzego Trappa z Uniwersytetu Gdańskiego do przygotowania charakterystyki klimatologicznej obszaru Trójmiasta (Trapp i in. 1987). Jej rezultaty wskazały, że warunki klimatyczne dzielnic centralnych Gdańska i Gdyni, położonych w bliskim sąsiedztwie Zatoki Gdańskiej, różniły się zauważalnie od tych charakterystycznych dla fragmentów miast bardziej oddalonych od morza i równocześnie wyżej wyniesionych. Stwierdzono istnienie wyraźnego związku zmienności temperatury powietrza z ukształtowaniem terenu, wysokością nad poziom morza i odległością od morza. Dzielnice położone najwyżej były średnio w roku o ponad 1,5°C chłodniejsze od tych położonych bezpośrednio w sąsiedztwie wód Zatoki. Chłodniejsza o około 1°C od obszarów najniżej wyniesionych była również strefa krawędziowa Pojezierza Kaszubskiego. Dzielnice przymorskie cechował też bardziej wyrównany przebieg roczny i dobowy temperatury powietrza oraz znikomo mała liczba dni skrajnych termicznie, tj. bardzo mroźnych i upalnych. Dzielnice położone na obszarze Pojezierza i Żuław cechowała większa wartość wilgotności względnej. Interesująco zmieniało się zachmurzenie w poszczególnych fragmentach Trójmiasta. Najbardziej zachmurzone było niebo nad dzielnicami centralnymi Gdyni oraz nad Żuławami (czyli nad wschodnimi dzielnicami Gdańska), zwłaszcza zimą. Najbardziej pogodne niebo cechowało część nadmorską Gdańska. Charakterystyczne dla tego fragmentu miasta było również zdecydowane zmniejszenie rocznych sum opadu atmosferycznego do wartości poniżej 550 mm. Wiazać to należy z położeniem w cieniu opadowym znacznie wyżej wyniesionych terenów pojeziernych, na których średnio rocznie notowano

około 30–40 mm więcej. Większe opady cechowały również centrum Gdyni oraz zachodnie, nisko wyniesione dzielnice tego miasta. Z uwagi na ich położenie w pradolinie zorientowanej w osi zachód-wschód, były eksponowane na adwekcję napływających z zachodu mas powietrza. W dzielnicach nadmorskich Gdańska najpóźniej tworzyła się i zarazem najwcześniej zanikała pokrywa śnieżna. Niezależnie natomiast od położenia, we wszystkich fragmentach Trójmiasta dość często powstawały mgły. Zdecydowanie najczęściej jednak obserwowano ich na obszarach pojeziernych aglomeracji, położonych najwyżej nad poziomem morza.

Na przełomie lat 70. i 80. ubiegłego wieku rozpoczęto nowy etap intensywnych prac terenowych na rzecz rozpoznania lokalnego zróżnicowania warunków klimatycznych Gdańska i Gdyni. Bazowały one na wynikach pomiarów i obserwacji prowadzonych przez dwa lata w gęstej sieci posterunków (pomiarów termohigrografami) oraz na znacznej liczbie całodobowych pomiarów patrolowych prowadzonych w warunkach pogody radiacyjnej w kilkudziesięciu punktach Trójmiasta. Szczegółowej analizie poddano najpierw Gdynię (Trapp 1978; Trapp, Korzeniewski 1981), a następnie Gdańsk (Korzeniewski 1994).

Sz szczególnie interesujące wyniki uzyskano podczas analizy wpływu zabudowy na przestrzenne zróżnicowanie temperatury powietrza w Gdyni (Trapp 1978). Pomiarów prowadzono w tym wypadku w trzech punktach położonych na obszarze nisko położonych dzielnic miasta. Dwa posterunki znajdowały się w obrębie zwartej zabudowy, jednak w różnej odległości od linii brzegowej (odpowiednio 100 m i 1600 m). Trzeci punkt zlokalizowano dość daleko od morza, poza obszarem zabudowanym, blisko jednego ze wspomnianych punktów położonych pośród zabudowy. Otrzymane wyniki porównywano z rezultatami pomiarów na gdyńskiej stacji IMGW, położonej w końcowej części szerokiego moła w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej.

Rezultaty analiz prac terenowych wskazały, że oddziaływanie morza i zabudowy na przestrzenne zróżnicowanie stosunków termicznych w Gdyni było znacznie słabiej widoczne, niż w miastach położonych w głębi lądu. Pomimo to, zabudowa przez cały rok wpływała ocieplająco na temperaturę powietrza, z tym, że amplituda anomalii zmieniała się w cyklu dobowym i rocznym. Niemal przez cały rok pomiędzy pobliskimi punktami położonymi w obrębie zabudowy i poza nią występowały różnice temperatury na korzyść pierwszego z tych miejsc. Największe kontrasty,

rzędu ok. 4°C, zauważalne były w godzinach nocnych w ciepłej porze roku. Najmniejsze różnice pomiędzy obszarem zabudowanym i otoczeniem miasta występowały natomiast w godzinach południowych w półroczu ciepłym. W godzinach popołudniowych otoczenie miasta bywało niekiedy nawet nieznacznie cieplejsze od miejsc zabudowanych.

Wyodrębnienie roli morza i zabudowy w kształtowaniu warunków termicznych Gdyni okazało się bardzo trudne. Zasadniczo jednak, w ciągu dnia w półroczu ciepłym wartości temperatury rosły wraz z oddalaniem się od linii brzegowej w głąb obszarów o gęstej zabudowie. W ujęciu średniomiesięcznym dzielnice centralne miasta były w ciągu dnia cieplejsze zazwyczaj o 1–1,5°C niż brzeg morski. Nocą różnice termiczne ulegały zmniejszeniu. W czasie chłodnego półrocza obszary gęsto zabudowane położone w pobliżu linii brzegowej były wyraźnie cieplejsze od dzielnic oddalonych od morza. Kontrasty były szczególnie silne w godzinach nocnych, w skali sezonu dochodziły do co najmniej 1°C. Pomiedzy posterunkami położonymi blisko linii brzegowej, niezależnie od zabudowy, nie odnotowywano różnic.

Duże znaczenie w kształtowaniu warunków termicznych miała też lokalna cyrkulacja. Oddziaływanie wód Zatoki na temperaturę powietrza, tak w Gdyni (Trapp 1978), jak i w Gdańsku (Korzeniewski 1994) zależało od kierunku wiatru. W półroczu ciepłym wiatr od strony morza powodował rosnący nawet do kilku stopni Celsjusza kontrast termiczny pomiędzy sąsiedztwem linii brzegowej, a cieplejszymi obszarami zabudowanymi oddalonymi od morza. Zmiana kierunku wiatru na przeciwny niwelowała te kontrasty. W okresie chłodnej pory roku adwekcja powietrza z nad morza łagodziła różnice termiczne. W sytuacji, gdy wiatr wiał w kierunku morza, różnice pomiędzy obszarem zabudowanym a brzegiem morza ponownie pogłębiały się.

Modyfikacja stosunków anemologicznych w mieście polega zasadniczo na zmniejszeniu prędkości wiatru, zwiększeniu turbulencyjności powietrza oraz powstaniu lokalnego systemu wiatrów (Trapp 1978). W przypadku stosunków wietrznych Gdańska i Gdyni generalnie zauważalne jest dodatkowe ich zróżnicowanie wskutek cyrkulacji bryzowej (Trapp 1978; Korzeniewski 1994). W pierwszym rzędzie w rezultacie przeprowadzonych badań, ich autorzy stwierdzili redukcję liczby cisz wewnątrz terenów zabudowanych w porównaniu do miast leżących w głębi lądu, takich jak Częstochowa, czy Berlin.

Cytowani uprzednio badacze stwierdzili również, że kierunek przepływu powietrza w obszarze gęsto zabudowanym pozostaje w ścisłym związku z układem ulic, ich szerokością oraz wysokością i zwartością zabudowy. Zwiększenie szerokości ulicy powoduje powstawanie zawirowań w przepływie powietrza. W obszarach zabudowanych przez oddalone od siebie budynki wysokie (osiedla mieszkaniowe), kierunek wiatrów silnych nie podlega tak istotnym zmianom jak w obszarze gęstej zabudowy.

Deformacja prędkości wiatru również zależy od typu zabudowy. W terenach o gęstej zabudowie przepływ powietrza ulegał intensyfikacji w sytuacji, gdy oś podłużna ulic była zbliżona do kierunku wiatru makroskalowego. W obszarach o luźnej zabudowie z kolei na prędkość wiatru wpływało rozmieszczenie budynków w stosunku do ogólnego kierunku wiatru. Pomiarzy prowadzone na osiedlach mieszkaniowych wskazywały na zmiany intensywności przepływu powietrza w granicach od 80% do 130% prędkości wiatru ogólnego. Przykładowo, do przyspieszenia cyrkulacji dochodziło w przewężeniach pomiędzy budynkami. Wśród obserwowanych zjawisk stwierdzono również sporadyczne występowanie w obrębie zabudowy prędkości wiatru większych, aniżeli na obszarze niezabudowanym. Zwiększenie prędkości ruchu powietrza miało miejsce przede wszystkim w odniesieniu do wiatrów o prędkości równej co najmniej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Szczególną rolę w kształtowaniu rozkładu przestrzennego kierunku i prędkości wiatru obu omawianych ośrodkach Trójmiasta spełnia też cyrkulacja bryzowa (Trapp 1978; Korzeniewski 1994). Jest ona silnie determinowana przez typ zabudowy i położenie ciągów układu komunikacyjnego w stosunku do linii brzegowej (rys. 2). Wpływ ten zaznacza się szczególnie w obrębie ulic zorientowanych prostopadłe do brzegu.

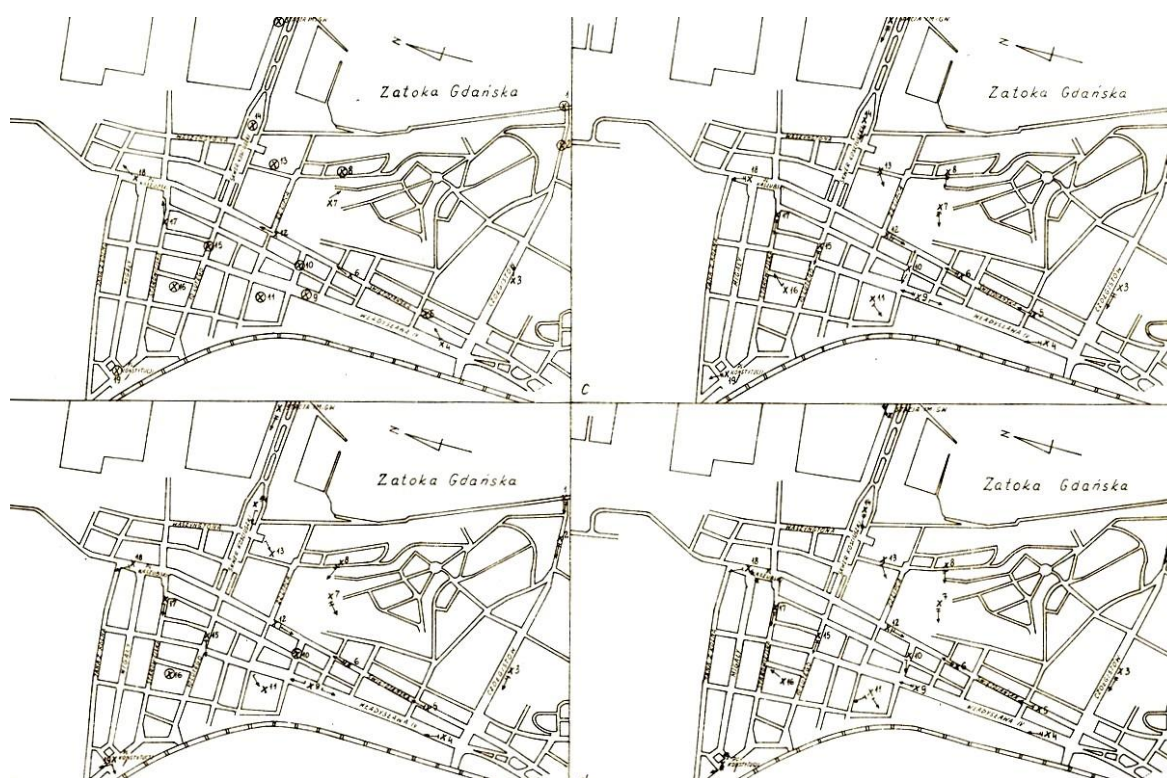
Zdaniem wspomnianych autorów do powstania bryzy morskiej w ośrodkach Trójmiasta dochodzi stosunkowo rzadko. Przeciętnie w roku występuje od 20 do 30 dni z bryzą, przy czym jej trwałość oraz moment wkroczenia na ląd tzw. frontu bryzowego jest silnie zmienny. Badania rozwoju bryzy morskiej w Gdyni udokumentowane przez Trappa (1978) potwierdzają zasadnicze cechy tego zjawiska przedstawione przez Koschmiedera (1936). Interesujący jest w tym wypadku jednak aspekt przebiegu cyrkulacji bryzowej w obszarze gęsto zabudowanym (rys. 2). W opisywanym przypadku z dnia 31 sierpnia 1974 roku powietrze znad morza wkroczyło na ląd około godziny 9.00 (rys. 2b). Wraz z przesuwaniem się w głąb lądu deformacji ulegały prędkość i kierunek wiatru. W ulicach

o przebiegu prostopadłym do linii brzegowej kierunek od morza nie uległ zmianie, zaobserwowano też niewielką redukcję prędkości wiatru. W ulicach równoległych do brzegu wystąpiły za to przeciwstawne kierunki wiatru o małej prędkości. Wraz z intensyfikacją cyrkulacji bryzowej przepływ powietrza przyspieszył. Prawdopodobną tego przyczyną było wzmocnienie wiatru ruchami poziomymi zainicjowanymi wyzwalaniem dość silnych prądów konwekcyjnych.

Zjawiska typu bryzy miejskiej są w przypadku Gdańska i Gdyni zdaniem wspomnianych autorów trudne do zaobserwowania i stanowią co najwyżej jedynie element ogólnego systemu wiatrów lokalnych.

Urozmaicona rzeźba terenu miast aglomeracji trójmiejskiej generuje dodatkowo jeszcze jedno ciekawe zjawisko uzupełniające schemat lokalnej cyrkulacji powietrza. Trapp (1978) przeprowadził badania nad powstawaniem grawitacyjnego spływu powietrza na zachodnim zboczu gdyńskiej Kępy Redłowskiej – ostro wznoszącej się niemal bezpośrednio nad brzegiem morskim na wysokość blisko 70 m n.p.m. klifowej formy wysoczyzny morenowej. Na jej zboczach, zdaniem badacza, dochodzi do powstawania wiatrów stokowych o niewielkich prędkościach (rzędu $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), których kierunek zależy od formy rozmieszczenia budynków. Z uwagi na znikomą prędkość wiatrów stokowych na obszarze Trójmiasta nie są one jednak istotnym elementem modyfikującym warunki anemologiczne na obszarze omawianej aglomeracji.

W latach 90. ubiegłego stulecia podjęto obszernie badania meteorologicznych uwarunkowań przestrzennego zróżnicowania stężeń zanieczyszczeń w obrębie aglomeracji trójmiejskiej, ze szczególnym uwzględnieniem Gdańska. Wyszowski (1994) scharakteryzował uwarunkowania meteorologiczne zróżnicowania przestrzennego stężeń sumy węglowodorów na podstawie wyników pomiarów z punktowej sieci pomiarów automatycznych w rejonie Gdańskich Zakładów Rafineryjnych. Wyszowski i in. (1993) dokonali również oceny warunków aerosanitarnych miast aglomeracji trójmiejskiej w odniesieniu do zanieczyszczeń gazowych i opadu pyłu. Badacze wskazali obszary centralnych oraz wschodnich dzielnic Trójmiasta jako najbardziej zagrożone na zanieczyszczenia gazowe i pyłowe. Stymulująco na wzrost ryzyka wystąpienia niekorzystnych warunków aerosanitarnych działają sytuacje antycyklonalne, sprzyjające powstawaniu termicznej warstwy hamującej nad Gdańskiem. Zagrożenie dla mieszkańców miasta jest jednak zredukowane poprzez rozwój lokalnej cyrkulacji. Wnioski wynikające z tej pracy



Rys. 2. Deformacje kierunków i prędkości bryzy morskiej w Śródmieściu Gdyni w dniu 31 sierpnia 1974 roku (za: Trapp 1978)

górný panel – godzina 7.00 (brak bryzy) oraz godzina 9.00, dolny panel – godzina 12.00 oraz godzina 18.00

Deformation of the direction and speed of sea breeze in the centre of Gdynia on August 31, 1974 (after Trapp 1978)

upper panel – 7 a.m. (no breeze) and 9 a.m., lower panel – 12 and 6 p.m.

pozwoły wspomnianym autorom w dalszej kolejności na przeprowadzenie bonitacji potencjalnych warunków aerosanitarnych. Na tej podstawie wyznaczyli oni pierwsze punkty pomiarowe Agencji Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej (ARMAAG), obecnie sprawnie działającej już od ponad ćwierćwiecza sieci monitorującej jakość powietrza na terenie aglomeracji trójmiejskiej. Corocznie publikowane od połowy lat 90. XX wieku raporty tej Agencji przedstawiają stan zanieczyszczenia Trójmiasta w kolejnych latach. Pozytywnie w stacjach monitoringowych dane meteorologiczne są również charakteryzowane we wspomnianych raportach (przykładowo Filipiak, Owczarek 2003). Należy jednak mieć w tym wypadku na uwadze pogorszoną w kilku przypadkach reprezentatywność lokalizacji stacji pomiarowych. Badania tła meteorologicznego stanowią w przypadku działalności ARMAAG element pomocniczy. Raporty nie mogą więc pełnić w pełni miarodajnego źródła informacji o lokalnym zróżnicowaniu warunków klimatycznych aglomeracji.

Przełom XX i XXI wieku otworzył nowe ścieżki badań klimatu miasta nadmorskich rozwijane przez przedstawicieli IMGW i UG. Podjęto prace rekonstrukcyjne warunków klimatycznych Gdańska w oparciu o zhomogenizowane serie wybranych elementów, jak temperatura powietrza, opady atmosferyczne, ciśnienie, zachmurzenie (Miętus 1998; Miętus i in. 2007; Filipiak 2011). Rekonstrukcję wykonywano w odniesieniu do wartości miesięcznych, jak również dobowych. Wzrost zestawu danych historycznych o dużej rozdzielczości czasowej usprawnił badania klimatyczne ukierunkowane na zrozumienie istoty naturalnej zmienności klimatu w tej części Wybrzeża oraz odróżnienie naturalnych zmian klimatycznych od antropogenicznych. Szczególne znaczenie w kontekście klimatu miasta ma wyodrębnienie efektu urbanizacyjnego w serii wielkomięjskiej. Aspekt ten rozszerzano w analizach detekcji oddziaływania lokalnych ośrodków antropopresji na temperaturę powietrza (Miętus 1996; Miętus, Filipiak 2001). Wyniki takich ba-

dań przeprowadzonych dla Gdyni i ośrodków pozamiejskich (Rozewie, Hel) ujawniły między innymi obecność silnego spadkowego trendu dobowej amplitudy temperatury w Gdyni. Zjawisko to, związane z szybszym wzrostem temperatury minimalnej, w porównaniu ze słabszą dodatnią tendencją temperatury maksymalnej, jest zdecydowanie intensywniejsze w dużym mieście niż w przypadku małych miejscowości. Inną miarą oddziaływania ośrodka miejskiego na klimat jest dodatni trend różnicy temperatury powietrza i powierzchniowej warstwy wody morskiej w Gdyni (Miętus, Filipiak 2001). W przypadku Helu wartość tego wskaźnika nie ulega tak intensywnym długookresowym zmianom.

Digitalizacja archiwalnych danych meteorologicznych umożliwiła przeprowadzenie analiz warunków klimatycznych w okresach historycznych. Część z nich posłużyła charakterystyce warunków meteorologicznych w Gdańsku i Gdyni w latach 1940–1944 (Michalska 2006). Na podstawie uzyskanych rezultatów autorka wykazała zróżnicowanie pogody w obu miastach. W Gdyni było cieplej, bardziej słoneczniej i wietrzniej. Padało tam więcej deszczu, lecz za to rzadziej występowały opady śniegu. W Gdańsku notowano przeważnie wiatry z sektorów południowego i zachodniego, za to w Gdyni z kierunku północno-zachodniego i zachodniego. Owczarek i Miętus (2018) ocenili z kolei ekstremalne przypadki zjawisk termicznych, opadowych oraz anemometrycznych w Gdyni w latach 1923–1950 w odniesieniu do wielolecia referencyjnego 1971–2000. Najbardziej pomiędzy rozpatrywanymi wieloleciami zmienił się roczny rozkład temperatury minimalnej, który ulega systematycznemu przesunięciu w kierunku wyższych wartości. Wykazano również wzrost wartości temperatury maksymalnej oraz spadek liczby dni bardzo mroźnych. Rośnie intensywność opadów w niektórych miesiącach półroczia ciepłego, wzrasta też zagrożenie niedoborem opadów w ciągu całego roku. Częstsze występowanie wiatrów silnych intensyfikuje ryzyko strat.

Interesujący aspekt zmienności pokrywy śnieżnej na obszarze Gdyni przedstawili Wyszowski i Biernacik (2008), uwydatniając rolę silnie urozmaiconej rzeźby terenu oraz znacznego wyniesienia szeregu dzielnic miasta. Zanik pokrywy śnieżnej w tych miejscach następuje o kilka dni później niż w obszarach położonych w sąsiedztwie wód Zatoki. Na stokach o ekspozycji północnej oraz w formach wklęsłych data ta jest jeszcze późniejsza.

Nadmorskie położenie opisywanych ośrodków miejskich narzuca również dodatkową spe-

cyfikę prac aplikacyjnych z zakresu bezpieczeństwa żeglugi oraz pracy portów i funkcjonowania podstaw ekonomicznych miast. Jednymi z najbardziej zaawansowanych dotychczasowych analiz środowiskowych poczynionych na rzecz projektowania lokalizacji wielkich inwestycji ekonomicznych w kraju były prace poprzedzające budowę Portu Północnego. Były one prowadzone przez zespół specjalistów z gdańskiego Instytutu Morskiego (m.in. Jednorąg 1968, 1987). Wykonane studia zostały wykorzystane w trakcie projektowania infrastruktury portowej, m.in. w kontekście oceny jej podatności na zagrożenia meteorologiczne.

Przeprowadzono szereg analiz z zakresu klimatologii stosowanej, prowadzących do oceny bonitacji warunków klimatycznych pod kątem działalności gospodarczej Gdyni (Owczarek 2000; Owczarek, Miętus 2001). Określone wartości kwantyli empirycznego rozkładu wybranych elementów meteorologicznych (temperatury powietrza, prędkości wiatru) wykorzystano do oceny ryzyka prowadzenia działalności gospodarczej. Za najmniej korzystny okres do realizacji prac zewnętrznych uznano miesiące od grudnia do lutego. W ich trakcie dochodzi bowiem m.in. do najczęstszego przekraczania przez temperaturę powietrza wartości 0°C. Intensyfikacji ulega też działalność sztormowa na Morzu Bałtyckim, prowadząc do wzrostu prędkości maksymalnej wiatru i występowania wezbrań sztormowych.

W 2002 roku rozpoczęto prace nad szczegółową charakterystyką warunków meteorologicznych i oceanograficznych na rzecz rozpoznania zagrożeń red portowych i wzmocnienia osłony polskich portów morskich (Miętus i in. 2002, 2003, 2004). Rezultatem prac było przedstawienie tablic klimatologiczno-statystycznych poszczególnych elementów i zjawisk meteorologicznych (m.in. temperatura powietrza, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność względna, zachmurzenie, opad atmosferyczny, pokrywa śnieżna) i oceanograficznych (temperatura powierzchniowej warstwy wody morskiej, zlodzenie morza, falowanie, prądy morskie) w okresie 1971–2000 łącznie dla sześciu portów morskich (Gdańsk, Gdynia, Świnoujście, Kołobrzeg, Ustka, Hel).

Istotnym aspektem bezpieczeństwa miast nadmorskich jest ekspozycja na systematycznie rosnący poziom morza. Z analiz przeprowadzonych dla Gdańska (Marosz 2017) wynika jednoznacznie, że postępujący wzrost poziomu morza oraz wezbrania sztormowe stanowią realne zagrożenie dla nisko położonych dzielnic Gdańska. Biorąc pod uwagę obecne tempo wzrostu pozio-

mu morza oraz projekcję tego zjawiska w skali XXI wieku w kontekście scenariuszy zmian koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze (szacujących wielkość wymuszenia radiacyjnego przez gazy cieplarniane w roku 2100) należy, zdaniem autorki, liczyć się z możliwością wystąpienia wezbrań przewyższających o kilkadziesiąt cm obecne poziomy maksymalne morza. Ryzyko takie pociąga za sobą konieczność wypracowania odpowiedniej strategii zabezpieczenia portu, miasta i żeglugi.

Podsumowanie

Powyższa charakterystyka przedstawia najważniejsze kierunki badań lokalnych warunków klimatycznych Gdańska i Gdyni w ponad 250-letnim okresie. Ich rezultaty wskazują, że warunki klimatyczne miast nadmorskich, takich jak Gdańsk i Gdynia są efektem współoddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych. Oddziaływanie położonego w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika morskiego spełnia szczególną rolę w kształtowaniu rocznej i dobowej zmienności szeregu elementów meteorologicznych. Zauważalny ponadto jest także wpływ innych czynników naturalnych, takich jak rzeźba terenu. Zabudowa miejska kształtuje z kolei specyficzny rodzaj podłoża atmosfery, modyfikując obieg ciepła i wilgoci oraz lokalną cyrkulację powietrza. Intensywne oddziaływanie morza i rzeźby terenu powoduje jednak, że rola zabudowy miejskiej w kształtowaniu przestrzennej zmienności warunków klimatycznych w Gdańsku i Gdyni jest słabiej widoczna niż w miastach położonych w głębi lądu. Specyficzne rozmieszczenie obszarów zabudowanych związane ze stosunkowo ekspansywnym i niekiedy słabo kontrolowanym rozwojem obydwu miast w ciągu ostatniego stulecia wzmacnia stopień zróżnicowania lokalnych warunków klimatycznych.

Literatura

- Filipiak J. 2011. Długookresowa zmienność opadów atmosferycznych w Gdańsku w okresie 1880–2008. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 119-128.
- Filipiak J., Owczarek M. 2003. Warunki meteorologiczne na obszarze Aglomeracji Gdańskiej w 2002 roku według danych ze stacji sieci ARMAAG. W: K. Szymańska (red.) *Stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Aglomeracji Gdańskiej w roku 2002 i informacja o działalności Fundacji ARMAAG*. ARMAAG, Gdańsk: 57-68.
- Filipiak J., Przybylak R., Oliński P. 2019. The longest one-man weather chronicle (1721–1786) by Gottfried Reyger for Gdańsk, Poland as a source for improved understanding of past climate variability. *International Journal of Climatology* 39, 2: 828-842.
- Frischmuth G. 1935. Beiträge zum Strahlungsklima von Danzig. *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* 7: 1-15.
- Frischmuth G. 1938. Beiträge zum Strahlungsklima von Danzig II. *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* 9: 1-25.
- Gorczyński W. 1939. Czas trwania usłonecznienia w Gdyni z Gdańskiem oraz na Helu, na tle innych stacji polskich i całego Bałtyku. Sprawozdania z Posiedzeń Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, Wydział III, t. 32, z. 1/3: 34-37.
- Jednorą T. 1968. Port Północny – założenia do projektowania i wstępne badania dla budowy głębokowodnego rejonu przeladunków. Instytut Morski, Gdańsk.
- Jednorą T. 1987. Falowanie południowego Bałtyku. *Studia i Materiały Oceanologiczne* 52: 115-144.
- Kleefeld J.G. 1826. Meteorologische Betrachtungen und Beobachtungen im Auszuge aus meinem Meteorologischen Tagebuche. *Der Neueste Schriften der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig* 2, 2: 1-25.
- Korzeniewski J. 1994. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej i środowiska geograficznego na temperaturę powietrza w Trójmieście. *Peribalticum* VI: 45-94.
- Koschmieder H. 1928. Methoden und Ergebnisse definierter Luftdruckmessungen. *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* 1: 1-40.
- Koschmieder H. 1936. Danziger Seewindstudien I. Nachweis und Beschreibung, sowie Beiträge zur Kinematik und Dynamik des Seewindes. *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* 8: 1-45.
- Koschmieder H. 1941. Danziger Seewindstudien II. Ergebnisse gehäufte Höhenwindmessungen. *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* 10: 1-39.
- Kwiecień K. 1968. Stosunki termiczne na wybrzeżu południowobałtyckim w świetle warunków anemometrycznych i usłonecznienia. Oddział Morski IMGW (maszynopis pracy doktorskiej).
- Lechowicz-Kwiecień K. 1961. Usłonecznienie Gdyni. *Biuletyn PIHM* 9: 58-80.
- Makowski J. 1993. Wały przeciwpowodziowe Dolnej Wisły: historyczne kształtowanie, obecny stan i zachowanie w czasie znacznych wezbrań. Wyd. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk: 1-355.
- Marosz K. 2017. Wzrost poziomu morza i wezbrania sztormowe źródłem potencjalnych zagrożeń

- dla Gdańska. Uniwersytet Gdański (maszynopis pracy doktorskiej).
- Michalska K. 2006. Warunki meteorologiczne w Gdańsku i Gdyni w latach 1940–1944. *Wiadomości IMGW XXIX*, 1: 49-65.
- Miętus M. 1996. O detekcji wpływu lokalnych ośrodków antropopresji na temperaturę na przykładzie rejonu Zatoki Gdańskiej. W: A. Jankowski (red.) *Metody badań wpływu czynników antropogennych na warunki klimatyczne i hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych. Materiały Konferencji Naukowej*, Uniwersytet Śląski, Katowice: 109-114.
- Miętus M. 1998. O rekonstrukcji i homogenizacji wieloletniej serii średniej miesięcznej temperatury ze stacji w Gdańsku-Wrzeszczu, 1851–1995. *Wiadomości IMGW XXI (XLII)*, 2: 41-63.
- Miętus M., Filipiak J. 2001. Struktura czasowo-przestrzennej zmienności warunków termicznych w rejonie Zatoki Gdańskiej. *Materiały Badawcze IMGW, seria Meteorologia* 32: 1-53.
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., Jakusik E., Szto Bryn M., Stanisławczyk I., Krzywiński W. 2002. Charakterystyka statystyczna warunków hydrologiczno-meteorologicznych rejonu polskich portów morskich. Porty: Gdańsk, Gdynia, Świnoujście. IMGW Oddział Morski, Gdynia (CD-ROM).
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., Jakusik E., Szto Bryn M. 2003. Charakterystyka statystyczna warunków hydrologiczno-meteorologicznych rejonu polskich portów morskich. Porty: Kołobrzeg, Ustka. IMGW Oddział Morski, Gdynia (CD-ROM).
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., Jakusik E., Szto Bryn M. 2004. Charakterystyka statystyczna warunków hydrologiczno-meteorologicznych rejonu polskich portów morskich. Porty: Hel. IMGW Oddział Morski, Gdynia (CD-ROM).
- Miętus M., Filipiak J., Wyszkowski A. (red.) 2007. 200 lat regularnych pomiarów i obserwacji meteorologicznych w Gdańsku. Seria: Monografie IMGW. IMGW, Warszawa: 1-228.
- Miętus M., Wielbińska D., Owczarek M. 1994. Historia obserwacji meteorologicznych na niektórych stacjach polskiego wybrzeża. *Wiadomości IMGW XVII (XXXVIII)*, 4: 149-162.
- Neumann S. 1871. Zusammenstellung für Danzig ange-stellten meteorologischen Beobachtungen. Theil 1 enthaltend die Jahre 1841, 1842 und 1843–1848. *Schriften der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig Neue Folge* Band 2: 1-73.
- Neumann S. 1873. Zusammenstellung für Danzig ange-stellten meteorologischen Beobachtungen. Theil 2 enthaltend die Jahre 1844 bis 1848. *Schriften der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig Neue Folge* Band 3, Heft 2: 1-48.
- Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. 2017. Urban climates. Cambridge University Press: 1-525.
- Owczarek M. 2000. Charakterystyka elementów klimatu Gdyni w latach 1951–1997. *Wiadomości IMGW XXIII (XLIV)*, 1: 57-75.
- Owczarek M., Miętus M. 2001. Wybrane użyteczne wskaźniki klimatyczne dla Gdyni. *Wiadomości IMGW XXIV (XLV)*, 1: 23-47.
- Owczarek M., Miętus M. 2018. Ekstremalne zjawiska meteorologiczne w Gdyni do 1950 roku. *Prze-gląd Geofizyczny LXIII*, 1-2: 31-50.
- Reyger G. 1770. Die Beschaffenheit der Witterung in Danzig vom Jahre 1722–1769 beobachtet, nach ihren Veränderungen und Ursachen erwogen, und mit dem Wetter anderer Orten verglichen. Daniel Ludwig Wedel Press, Gdańsk, Leipzig: 1-520.
- Reyger G. 1788. Die Beschaffenheit der Witterung in Danzig vom Jahre 1770–1786 beobachtet, nach ihren Veränderungen und Ursachen erwogen, und mit dem Wetter anderer Orten verglichen. Daniel Ludwig Wedel Press, Gdańsk, Leipzig: 1-200.
- Rühle H. 1935. Beiträge zum Strandklima. *Danziger Meteorologische Forschungsarbeiten* 6: 1-22.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Kraż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. 2018. Physico-geographical meso-regions of Poland: verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91, 2: 143-170.
- Staben J. 1927. Zum Klima von Danzig-Neufahrwasser. *Schriften der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig* 4: 273-306.
- Staben J. 1938. Die Niederschlagsverteilung im Gebiet der Freien Stadt Danzig.
- Trapp J. 1978. Wpływ warunków naturalnych i zabudowy na klimat Gdyni. Uniwersytet Gdański (maszynopis pracy doktorskiej).
- Trapp J., Korzeniewski J. 1981. Wpływ morza na stosunki wietrzne Gdyni. *Zeszyty Naukowe Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu UG. Geografia* 12: 97-110.
- Trapp J., Korzeniewski J., Nurek T., Wyszkowski A. 1987. Klimat aglomeracji gdańskiej. *Zeszyty Naukowe Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii UG. Geografia* 16: 5-33.
- Westphal J.H. 1820. Der Mittlere Temperatur in Danzig fuer Jeden Tag. *Der Neueste Schriften der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig* 1, 2: 56-60.
- Wielbińska D. 1962. Wpływ Bałtyku na opady w strefie brzegowej. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej* 48: 11-23.
- Wyszkowski A. 1994. Wpływ warunków meteorologicznych na kształtowanie emisji węglowodorów w rejonie zakładów petrochemicznych.

- Rozprawy i monografie* 202, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Wyszkowski A., Biernacik D. 2008. Pokrywa śnieżna w Gdyni w sezonie zimowym 2005/2006 W: K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.) *Klimat i bioklimat miast*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 129-141.
- Wyszkowski A., Trapp J., Mysiak R. 1993. Ocena warunków aerosanitarnych Gdańska w odniesieniu do wybranych zanieczyszczeń gazowych i opadu pyłu z uwzględnieniem warunków meteorologicznych. Katedra Hydrologii i Klimatologii Uniwersytetu Gdańskiego (maszynopis).

Summary

The paper deals with the history of urban climate research and its results in the cities of Gdańsk and Gdynia in Northern Poland, on the coast of the Baltic Sea. Gdansk has always been one of the most important cities in the described territory. Its inhabitants were interested in the issues of observation of the weather and the sea level and their influence on the economic and social life already in the 16th century. The regular weather observations in Gdansk, lasting almost incessantly till now, began in 1739. The first analysis of the climatic conditions of Gdańsk dates back to 1820 (Westphal 1820) and due to its results the mean annual air temperature for the period 1739–1819 was estimated at 5.45°R (6.8°C). The establishment of the maritime observatory in the harbour district of Gdańsk in 1876 enhanced the safety of shipping and harbour activity; since then the measurements of sea level have also been performed. Since the turn of the 20th century, a wider use of meteorological information in the water management and economy of the seaside region has been observed; notably, precipitation totals are applied to establish the relationships with water level in the Vistula River to estimate the height of flood embankments.

During the interwar period, there was a considerable scientific competition between two meteorological observatories located in Gdańsk and Gdynia. Among the greatest research achievements there are thorough studies of the structure of the wind field over Gdańsk and the influence of the shoreline and moraines on the local climatic conditions, as well as the vertical profile of the wind above the sea and in the sea-land contact zone (Koschmieder 1928, 1936, 1941). The direct effect of applied research was a fundamental thesis of the frontal character of the sea breeze

(Koschmieder 1936). During detailed field campaigns (using e.g. balloon tracking), the vertical and horizontal range of the sea breeze, the rate of its development and intensity were determined (Fig. 1) (Koschmieder 1936, 1941). There was no influence of the city on the shortwave radiation flux (Frischmuth 1935, 1938). The comprehensive climatological characteristics of Gdańsk and its vicinity, describing, among others, the spatial variation of selected meteorological elements (Staben 1927, 1938). The influence of land configuration on the climatic conditions of Gdańsk was highlighted. During the design of the harbour in Gdynia, climatic and hydrographic information was also used. Both observatories worked without major obstacles almost throughout the entire Second World War.

The next extensive analysis of climatic conditions in Gdańsk and Gdynia was undertaken in the 1980s (Trapp *et al.* 1987). The climatic conditions of the central parts of both cities, located close to the Gulf of Gdansk, differed significantly from those characteristic of the districts more distant from the sea and at the same time higher elevated. There was a clear relationship between the variability of almost all meteorological elements and the distance from the sea, altitude above sea level and land configuration. The districts located highest and distant from the sea were, on average, colder by 1.5°C than those located in the vicinity of the Gulf of Gdańsk. However, they experienced an increased amount of precipitation.

Intensive field campaigns carried out for two consecutive years in a dense network of posts (using thermohygrographs) and patrol measurements at several dozen points were undertaken to recognize the local diversity of climatic conditions in Gdynia (Trapp 1978; Trapp, Korzeniewski 1981) and Gdańsk (Korzeniewski 1994). The impact of urban area on the spatial variation of air temperature in Gdynia was much less visible than in inland located cities due to the intensive influence of the sea. Despite this, a warming effect of the urban area on the thermal conditions can be observed throughout the year, but with the anomaly amplitude changing in the diurnal and annual cycle. The results of the study of the sea breeze development reveal significant modifications of the wind speed and direction in the urban area (Fig. 2). In the streets perpendicular to the shoreline, the direction from the sea does not change, only a slight reduction in the wind speed has been observed. In the streets parallel to the shoreline, there are opposite wind directions with low speed. With the intensification of the breeze circulation,

the air flow accelerates, probably due to increasing convection.

Various aspects of applied urban climatology are present in the research of the last decades of the 20th century and present times, e.g. the influence of meteorological conditions on the spatial diversity of pollutant concentrations within the Gdańsk agglomeration (Wyszkowski 1994),

reconstructions of climate of Gdańsk (Miętus 1998; Miętus *et al.* 2007), detailed characteristics of hydrological, meteorological and oceanographic conditions applied to strengthen the protection of Polish seaports (Miętus *et al.* 2002, 2003, 2004), and finally the recognition of increasing sea water level as a risk hazard (Marosz 2017).