

DARIUSZ DRZEWIECKI

Uniwersytet WSB Merito w Poznaniu
Wydział Ekonomiczny w Szczecinie
e-mail: dariusz.drzewiecki@szczecin.merito.pl

Metody przetwarzania informacji cyfrowych w systemach ostrzegania o ekstremalnych zjawiskach pogodowych

Streszczenie. Ekstremalne zjawiska pogodowe stanowią coraz większe zagrożenie dla życia i zdrowia ludzkiego oraz powodują duże straty materialne. W związku z tym w systemach zarządzania kryzysowego podejmuje się szereg działań umożliwiających skuteczne zapobieganie klęskom żywiołowym lub łagodzenie ich skutków. W artykule przedstawiono informacje o sposobach pozyskiwania, przetwarzania i obrazowania danych cyfrowych w ramach polityki bezpieczeństwa dotyczącej ekstremalnych zjawisk pogodowych, w tym ogólną charakterystykę Informatycznego Systemu Ośłony Kraju (ISOK). Autor opisuje również główne cechy modeli numerycznych wykorzystywanych do monitorowania i prognozowania pogody.

Słowa kluczowe: ekstremalne zjawiska pogodowe, zarządzanie kryzysowe, systemy informacji przestrzennej, metadane, Informatyczny System Ośłony Kraju, satelitarne źródła danych, radarowy system ośłony

<https://doi.org/10.58683/dnswsb.2012>

1. Wprowadzenie

Każdą informację o środowisku geograficznym, zjawiskach w przestrzeni otaczającej człowieka oraz obiektach identyfikowanych w odniesieniu do Ziemi należy interpretować jako informację przestrzenną, będącą powiązaniem informacji tekstowej o obiekcie (zjawisku) z miejscem w przestrzeni geograficznej. Rozwój cyfrowych systemów przetwarzania informacji i usług publicznych nabiera charakteru interdyscyplinarnego, stając się kluczowym elementem w polityce bezpieczeństwa środowiskowego, zwłaszcza w odniesieniu do ośłony przed wystąpieniem ekstremalnych zjawisk zachodzących w przyrodzie. Zgodnie z tezą raportu *Emerging digital technologies in the public sector — The case of virtual worlds* (Nowe technologie cyfrowe w sektorze publicznym — przypadek światów wirtualnych),

który wpisuje się w założenia Nowego europejskiego planu na rzecz innowacji (ang. *The New European Innovation Agenda*) opublikowanego w lipcu 2022 roku, w zależności od poziomu rozwoju technologicznego i dostępności aplikacji dla odbiorców usługi publiczne mogą być rozwijane w światach wirtualnych na wiele sposobów. Dlatego pojęcie cyberinformacji w odniesieniu do zjawisk zachodzących w środowisku przyrodniczym należy rozumieć jako informację tekstową, wzbogaconą o dodatkowy wymiar, wyrażający położenie geograficzne i lokalizację opisywanego obiektu. Według Encyklopedii PWN (b.d.) Systemy Informacji Przestrzennej (SIP, ang. GIS — *Geographic Information System*) to systemy pozyskiwania danych i informacji o przestrzeni geograficznej, obejmujące ich gromadzenie, korygowanie i aktualizację, a także ich przetwarzanie i udostępnianie użytkownikom. Pomiar może być wprowadzony bezpośrednio do GIS poprzez systemy cyfrowego zbierania danych, za pomocą narzędzi oraz technologii analitycznej. Za geoinformację w odniesieniu do zjawisk hydrometeorologicznych można uznać każdą informację, która w swej treści zawiera odniesienie do lokalizacji przestrzennej zjawisk, sposobu przetwarzania i przesyłania informacji o ich wystąpieniu. Dane są gromadzone w postaci cyfrowej, a do ich przetwarzania wykorzystuje się specjalistyczne oprogramowanie.

2. Sposoby kodowania wyników przyziemnych obserwacji hydrometeorologicznych

Służba hydrometeorologiczna, zarówno cywilna, jak i wojskowa, realizuje zadania hydrometeorologicznej osłony społeczeństwa i sektorów gospodarki narodowej. W swojej pracy korzysta z sieci stacji meteorologicznych i punktów pomiarowych oraz wojskowych stacji-biur meteorologicznych (zlokalizowanych w bazach sił powietrznych). Obserwacje i pomiary wykonywane są w ściśle określonych terminach, w formie zakodowanych depesz, kierowanych do zainteresowanych komórek oraz do sieci wymiany międzynarodowej. Szyfrowanie wyników pomiarów i obserwacji hydrometeorologicznych nie jest formą utajnienia tych danych, natomiast ma na celu usprawnienie ich wymiany w obiegu światowym. Klucze stosowane do kodowania informacji pogodowej są uniwersalne i zrozumiałe na całym świecie, nie wymagają tłumaczeń na różne języki (Klucze do obserwacji, b.d.). Obserwacje do celów synoptycznych wykonywane są na całym świecie w tych samych terminach, ustalonych według czasu uniwersalnego UTM (Universal Time Coordination). Ustalone terminy głównych i pośrednich obserwacji w wymianie międzynarodowej to: 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00, 21.00, w wymia-

nie krajowej — co godzinę, zawsze o pełnej, i co pół godziny w meteorologicznej służbie sił powietrznych. Wyniki wszystkich pomiarów i obserwacji są przesyłane w sposób ciągły i dodatkowo dokumentowane w dziennikach obserwacji.

SYNOP — kod, przy pomocy którego kodowane są obserwacje meteorologiczne dokonywane na posterunkach meteorologicznych na całym świecie.

Depesza SYNOP obejmuje:

- ▶ prędkość i kierunek wiatru (ang. *wind*),
- ▶ widzialność (ang. *visibility*),
- ▶ aktualny stan pogody (ang. *present weather*),
- ▶ wcześniejszy stan pogody (ang. *recent weather*),
- ▶ zachmurzenie z określeniem typu chmur (ang. *sky condition*),
- ▶ temperaturę powietrza (ang. *temperature*),
- ▶ temperaturę punktu rosy (ang. *dew point*),
- ▶ ciśnienie atmosferyczne (ang. *pressure*).

METAR — format (kodowanego) raportu o pogodzie używany w meteorologii lotniczej. METAR jest akronimem od METEorological Aerodrome Report. Zazwyczaj METAR-y są wysyłane co godzinę przez stacje cywilne, natomiast stacje wojskowe wysyłają klucz METAR co 30 minut. Typowy METAR zawiera informację o temperaturze, ciśnieniu, temperaturze punktu rosy, prędkości i kierunku wiatru, opadzie, pokrywie chmur, wysokości podstawy chmur, widzialności, lecz może zawierać też inne informacje (np. stan dróg startowych).

Ponadto w międzynarodowym systemie przesyłania informacji pogodowej wykorzystuje się również depesze:

1. STORM — depesza ostrzegawcza, donosząca o powstaniu lub zbliżaniu się niebezpiecznego zjawiska;
2. AVIO — wskaźnik słowny dla depesz odwoławczych, donoszących o zaniku lub przejściu zjawiska;
3. SHIP — depesza do szyfrowania wyników obserwacji pogody ze statków;
4. TEMP — depesza do szyfrowania wyników pomiarów sondażu.

3. Źródła danych cyfrowych w procesie monitorowania i prognozowania zmian w środowisku przyrodniczym

Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci ludzkość osiągnęła poziom rozwoju technicznego umożliwiający zdalne obserwacje wielu zjawisk zachodzących na Ziemi. Rozdzielczość przestrzenna informacji dostarczanych przez satelity pozwala obserwować procesy zachodzące na obszarach wielkości metrów. Z danych satelitarnych możemy uzyskać informacje o aktualnym stanie pogody oraz dane pozwalające na sporządzanie prognoz pogodowych. Z satelitów można również obserwować powstawanie w atmosferze zjawisk niebezpiecznych, jak narodziny cyklonów, i zjawisk im towarzyszących, w tym wiatrów o sile huraganu, systemów frontów atmosferycznych z komórkami burzowymi, burz wewnątrzmasowych — w tym tropikalnych, obszarów o ograniczonej przeźroczystości powietrza na skutek wystąpienia mgieł, dymów, pyłów itp. Projekcja danych w podczerwieni umożliwia również analizę termiczną badanych obszarów lub poziom nasycenia ich parą wodną.

3.1. Satelitarne źródła danych (METEOSAT, NOAA)

Teledetekcja satelitarna to nowoczesna technika badawcza, której gwałtowny rozwój przypadł na lata sześćdziesiąte ubiegłego wieku. Początkowo badania koncentrowały się na sondażach atmosfery, następnie transmisji danych z pierwszych satelitów meteorologicznych, aż do powstania systemów satelitów geostacjonarnych i okołobiegunowych, przekazujących informacje hydrometeorologiczne w systemie ciągłym — 24 godziny na dobę.

Dane satelitarne służą do tworzenia produktów meteorologicznych. Są to zarówno produkty obrazowe o różnym stopniu przetworzenia — obrazy z poszczególnych kanałów spektralnych, kompozycje barwne, produkty o charakterze meteorologicznym, jak i dane w formie wykresów lub wartości — sondaż atmosfery, stabilność atmosfery itp. Dane satelitarne są używane w systemach wspomagających pracę synoptyka. W praktyce wykorzystywane są dwa systemy satelitów meteorologicznych — okołobiegunowy system satelitów meteorologicznych, np. NOAA, i geostacjonarny system satelitów meteorologicznych, np. EUMETSAT (Butler, 2014). Geostacjonarne satelity meteorologiczne są kontrolowane przez Europejską Organizację Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych (EUMESTAT¹

¹ EUMESTAT — utworzona w 1983 roku międzynarodowa organizacja odpowiedzialna za powołanie, utrzymanie i wykorzystanie europejskich satelitarnych systemów obserwacji meteorologicznych. Od 5 lipca 2012 roku jest członkiem Międzynarodowej Karty Przestrzeni Kosmicznej i Kataklizmów.

[METEOSAT]), USA (GOES)², Japonię (MTSAT), Chiny (Fengyun-2), Rosję (GOMS) i Indie (KALPANA). Ich orbity w sferze równikowej są umieszczone na wysokości 38 500 km. Na tej wysokości szybkość satelity jest taka sama jak szybkość obrotu Ziemi, a satelita widziany z punktu na równiku wydaje się być stacjonarny. Ta orbita pozwala satelicie stale obserwować te same obszary: 42% obszaru Ziemi. Aby otrzymać globalne sprawozdanie, potrzebna jest sieć pięciu, sześciu satelitów.

Satelity okołobiegunowe, jak sama nazwa wskazuje, poruszają się po orbitach, przelatując nad biegunami ziemskimi lub w ich pobliżu. Wysokość orbity wynosi 700–900 km nad powierzchnią Ziemi. Czas obiegu Ziemi to około 100 minut. Satelity meteorologiczne na orbicie polarnej są kontrolowane przez USA (NOAA, QuikSCAT), Rosję (Meteor) i Chiny (Fengyun-1). Aktualnie w Polsce znajduje się kilkanaście stacji odbioru danych z satelitów meteorologicznych (METEOSAT i NOAA). Zawiadują nimi:

- ▶ Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Zakład Badań Satelitarnych w Krakowie (wszystkie meteorologiczne systemy satelitarne),
- ▶ Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie (METEOSAT),
- ▶ Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie (NOAA),
- ▶ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi w Sosnowcu (NOAA),
- ▶ Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze (METEOSAT),
- ▶ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geofizyki (METEOSAT),
- ▶ Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii (NOAA, METEOSAT),
- ▶ Uniwersytet Gdański, Instytut Geografii (METEOSAT),
- ▶ Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (NOAA),
- ▶ Uniwersytet Szczeciński (NOAA),
- ▶ Główny Instytut Leśnictwa (NOAA),
- ▶ Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu (METEOSAT).

3.2. Radarowy System Oslony Meteorologicznej (POLRAD)

Polska sieć radarów meteorologicznych POLRAD składa się z naziemnych urządzeń teledetekcyjnych dokonujących monitoringu struktury oraz przemieszczania się obiektów meteorologicznych w troposferze w zasięgu kilkuset kilometrów (w tym opadu na powierzchnię ziemi). Pomiaru te stanowią ważne źródło danych wejściowych do numerycznych modeli meteorologicznych i hydrologicznych. Oslona radarowa całego obszaru Polski jest możliwa dzięki stworzeniu przez In-

² GOES (Geostationary Satellite Server) — NOAA (The National Oceanic and Atmospheric Administration), <http://www.goes.noaa.gov/>

stytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej systemu radarów (POLRAD), zlokalizowanych w różnych częściach kraju. Centralny Radarowy Ośrodek Operacyjny (CROO) znajduje się w Warszawie. Wszystkie radary są zautomatyzowane, obsługiwane i sterowane zdalnie. Informacje satelitarne są przekazywane bezpośrednio do CROO. Dane z sieci radarowej wykorzystywane są do meteorologicznej osłony lotnictwa, transportu morskiego, energetyki i gospodarki wodnej, transportu drogowego, rolnictwa, turystyki i służą serwisom informacyjnym środków masowego przekazu, itp. W chwili obecnej sieć radarów meteorologicznych składa się z 11 radarów. Osiem z nich zlokalizowano w Legionowie, Rzeszowie, Brzuchani (koło Miechowa), Ramży (koło Rybika), Pastewniku (koło Bolkowa), Poznaniu, Świdwinie i Gdańsku (6 radarów zostało uruchomionych w latach 2002–2004, a radary w Pastewniku i Ramży w latach 2009–2010). W roku 2023 system został zmodernizowany i rozbudowany. Powstały dwie nowe stacje radarowe — w Użrankach (koło Mrągowa w województwie warmińsko-mazurskim) i na Górze Świętej Anny. W 2024 roku uruchomiono stację w Szemudzie koło Gdyni. Ponadto planowane jest zwiększenie wysokości wieży radaru w Brzuchani, co poprawi jakość zbieranych danych, oraz przeniesienie o kilkanaście kilometrów na północny zachód radaru w Gdańsku, aby umożliwić rozbudowę portu lotniczego. Dane, które będziemy gromadzić, pomogą w prognozowaniu gwałtownych zjawisk pogodowych, w tym m.in. burz, tornad, a także intensywnych opadów deszczu, oznaczających zagrożenie powodziowe.

Z pozyskanych danych surowych, które są następnie transmitowane do siedziby IMGW-PIB w Warszawie, tworzy się średnio około 30 różnych produktów dla każdego radaru. Sieć radarów meteorologicznych POLRAD pracuje operacyjnie i dane są na bieżąco zamieszczane na stronach internetowych www.pogodynka.pl. Warto wiedzieć, że sama możliwość animacji danych może pomóc nie tylko w analizie bieżącej sytuacji, ale również dać wyobrażenie, co będzie się działo za jedną lub dwie godziny. Przede wszystkim nie należy lekceważyć rejonów, gdzie radar wskazuje duże wartości odbiciowości, bo sytuacja w atmosferze w tych obszarach może być bardzo groźna. Zainteresowanym szczegółami dotyczącymi opisu dowolnego z wymienionych produktów IMGW poleca się opracowanie pt. *Charakterystyka produktów radarowych* (Sieć radarów POLRAD — charakterystyka i znaczenie dla pilotów, 2018).

3.3. SYSTEM ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami)

Koncepcja budowy systemu ISOK zakładała, że główna wymiana danych pomiędzy komponentami systemu odbywać się będzie za pośrednictwem usług w archi-

tekturze SOA³. Taki sposób budowy systemu umożliwi szybkie dostosowywanie funkcjonalności do zmiennych wymagań użytkowników. Architektura systemu zakładała publikację danych przestrzennych z wykorzystaniem serwera mapowego, który umieszczał dane w standardach WMS⁴ (Web Map Service) i WFS (Web Feature Service). Dzięki takiemu rozwiązaniu opublikowane dane mogły być łatwo pozyskiwane przez dowolny węzeł architektury i dostarczane do zainteresowanych użytkowników. Odbiorcami rezultatów projektu są instytucje odpowiedzialne za planowanie przestrzenne oraz planowanie ochrony przed powodzią. Przede wszystkim są to regionalne zarządy gospodarki wodnej, zajmujące się ochroną obszarów zagrożonych. Za planowanie przestrzenne odpowiadają natomiast władze gmin i marszałkowie województw. To ich obowiązkiem będzie uwzględnienie wyników projektu (Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego, b.d.) w planach zagospodarowania przestrzennego gmin i województw. Odbiorcami produktów ISOK są także instytucje odpowiedzialne na mocy ustawy o zarządzaniu kryzysowym za zapobieganie sytuacjom kryzysowym, przygotowanie do przejmowania nad nimi kontroli w drodze zaplanowanych działań oraz reagowanie w przypadku ich wystąpienia. W szczególności dotyczy to wojewódzkich centrów zarządzania kryzysowego oraz innych jednostek administracji rządowej i samorządowej na szczeblu krajowym, regionalnym i lokalnym, zajmujących się kwestiami ochrony przed powodzią i innymi zagrożeniami oraz reagowaniem kryzysowym. Rozwiązania informatyczne znacznie poprawiają możliwości dostępu do kompletnej i wiarygodnej informacji o zagrożeniach. W ramach systemu zostało opracowanych osiem produktów map zagrożeń: P8.1: Zagrożenia termiczne, P8.2: Intensywne opady atmosferyczne, P8.3: Silny wiatr, P8.4: Mgła, P8.5: Gołoledź, P8.6: Burze z gradem, P8.7: Szadź, P8.8: Opad śniegu.

Produkty projektu ISOK:

- ▶ mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego,
- ▶ system informatyczny ISOK,
- ▶ raport z identyfikacji krajowych systemów informacyjnych,
- ▶ wstępna ocena ryzyka powodziowego,
- ▶ mapy zagrożeń meteorologicznych,
- ▶ mapy innych zagrożeń,
- ▶ baza danych obiektów topograficznych (BDOT),

³ Service Oriented Architecture (SOA) — więcej na stronie The Open Group — Service Oriented Architecture, <https://web.archive.org/web/20160819141303/opengroup.org/soa/source-book/soa/soa.htm>

⁴ Więcej na stronie WMS — Web Map Service, <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

- ▶ numeryczny model terenu (NMT) i numeryczny model pokrycia terenu (NMPT),
- ▶ system zarządzania NMT (SZNMT),
- ▶ ortofotomapa cyfrowa,
- ▶ mapa podziału hydrograficznego Polski w skali 1:10 000.

3.4. GEOPORTAL AWIACJA IMGW (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej)

Przeznaczony dla pilotów i sympatyków lotnictwa Geoportal został opracowany przez IMGW (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Zawiera informacje meteorologiczne i hydrologiczne opracowane na podstawie danych pochodzących z sieci pomiarowo-obszewacyjnej instytutu. Przekazywane informacje są zgodne z wymogami zawartymi w dokumentach Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) oraz, w ramach osłony lotnictwa, w przepisach Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO). W strukturze obszaru MOLC (Meteorologicznej Osłony Lotnictwa Cywilnego) funkcjonują trzy biura prognoz meteorologicznych: Centralne Biuro Prognoz Lotniczych — MBN w Warszawie, Centralne Biuro Prognoz Meteorologicznych w Krakowie, Biuro Prognoz Meteorologicznych we Wrocławiu. Działa także 13 Lotniskowych Stacji Meteorologicznych (w Bydgoszczy, Gdańsku, Katowicach, Krakowie, Łodzi, Poznaniu, Rzeszowie, Szczecinie, Warszawie, Wrocławiu, Zielonej Górze, Lublinie i Modlinie).

3.5. GEOPORTAL ICM (Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego) przy Uniwersytecie Warszawskim⁵

Geoportal ICM, serwis map pogodowych (analiza i prognoza) opracowanych na podstawie matematycznych modeli numerycznych, zawiera zobrazowanie i prognozę elementów i zjawisk pogody dla wybranych miejsc w Polsce i wybranych państw. Oprócz wyników modeli opracowanych w ICM (starych i nowych) serwis udostępnia również 10- i 16-dniową prognozę globalnego modelu GFS (The Global Forecast System)⁶, prezentuje także codzienne komentarze synoptyka. Informacje pogodowe ICM zawarte są też na stronie FB: www.facebook.com/MeteoICM.

⁵ Zob. <https://icm.edu.pl>

⁶ Global Forecast System (GFS) — globalny system prognozowania pogody krótko- i średnioterminowej. Najważniejszym składnikiem systemu jest numeryczny model prognozy pogody obsługiwany przez amerykańską National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

4. Modele numeryczne jako źródło danych do monitorowania i prognozowania pogody

Dokładne prognozy pogody są niezbędne dla wielu branż i społeczności, aby chronić życie, mienie i zapewniać ciągłość działania służb. Takie branże, jak rolnictwo, transport, energetyka, budownictwo i zarządzanie kryzysowe, korzystają z precyzyjnych informacji pogodowych. Informacje o pogodzie i najnowocześniejsza technologia umożliwiają przygotowanie się na działania związane z poprawą naszego bezpieczeństwa i optymalizacją środków wykorzystywanych w zarządzaniu kryzysowym. Do stworzenia dokładnej prognozy pogody oprócz wiedzy oraz doświadczenia potrzebne są dane pochodzące z modeli numerycznych. Prognozowanie pogody z wykorzystaniem modeli numerycznych możliwe jest dzięki zastosowaniu równań matematycznych, które są używane do odwzorowywania procesów zachodzących w atmosferze. Dzięki wprowadzeniu do równań określonych parametrów, które odpowiadają za stan atmosfery w danej chwili, możemy określić, w jaki sposób ulegną one zmianom w przebiegu czasowym, a to z kolei umożliwia opisywanie zmienności parametrów i zjawisk zachodzących w atmosferze.

Modele numeryczne dzielą się na globalne, regionalne oraz mezoskalowe. Globalne modele numeryczne swoim zasięgiem obejmują najczęściej całą kulę ziemską lub półkulę. Z kolei modele regionalne zasięgiem mogą obejmować kontynent lub fragment kontynentu. Maksymalny czas prognozy w przypadku modeli regionalnych najczęściej nie przekracza 72 godzin. Najdokładniejsze są modele mezoskalowe, które swoim zasięgiem najczęściej obejmują państwo lub kilka sąsiadujących ze sobą państw.

Na podstawie modeli numerycznych można odczytać praktycznie wszystkie parametry niezbędne do wydania prognozy pogody. Możemy z nich uzyskać dane dotyczące m.in. spodziewanej temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego, kierunku i prędkości wiatru. Pozwalają one również na odczyt wilgotności powietrza, zachmurzenia, możliwości wystąpienia mgieł oraz rodzaju i natężenia opadów atmosferycznych. Wyliczenia modeli numerycznych prezentowane są w postaci map, wykresów lub diagramów. Prezentują one zmienność interesującego nas parametru lub zbioru parametrów dla określonego przedziału czasu. Najbardziej znanymi modelami numerycznymi są: model globalny GFS (Global Forecast System) oraz model europejski ECMWF (European Center for Medium-range Weather Forecast). Na bazie wyników modeli globalnych opracowywane są regionalne modele numeryczne.

Nawet najprostsze modele prognostyczne wykorzystują skomplikowane równania matematyczne. Dlatego ogromne zbiory danych wymagają komputerów

o coraz większej mocy obliczeniowej. Najbardziej wyrafinowane i dokładne modele prognostyczne na świecie — takie jak European Center for Medium-Range Weather Forecas (ECMWF) lub High-Resolution Rapid Refresh (HRRR) używane przez NOAA — działają na superkomputerach, które mogą wykonywać 12 bilionów obliczeń na sekundę. Innym dobrze znanym modelem prognostycznym jest North American Mesoscale Model (NAM), krótkookresowy model regionalny, który obejmuje całą Amerykę Północną i generuje prognozy z 61-godzinny wyprzedzeniem. NAM jest zbudowany w oparciu o model Weather Research and Forecasting (WRF), model prognostyczny typu open source, który zasila również dwa szeroko stosowane modele prowadzone przez Narodową Administrację Oceaniczną i Atmosferyczną (NOAA): model Rapid Refresh (RR lub RAP) i HRRR. Inne modele pogodowe to np.: model Kanadyjskiego Centrum Meteorologicznego (CMC), model UK Met Office, model Niemieckiej Służby Meteorologicznej (DWD), model Australijskiego Biura Meteorologicznego (BoM). Każdy z nich jest przeznaczony do tworzenia dokładnych prognoz.

4.1. Czym są modele prognoz pogody?

Modele prognozy pogody to zaawansowane algorytmy komputerowe, które wykorzystują równania matematyczne do symulacji i przewidywania warunków atmosferycznych. Te modele pogodowe wykorzystują dane z obserwacji pogody, zdjęć satelitarnych, pomiarów radarowych i innych źródeł, aby stworzyć liczbowe reprezentacje atmosfery ziemskiej. Cyfrowe modele prognoz pogody mogą generować prognozy dla różnych lokalizacji i ram czasowych. Modele prognoz pogody można podzielić na trzy główne typy: modele globalne, modele mezoskalowe i modele w mikroskali.

Globalne modele prognoz pogody obejmują cały glob i dostarczają prognoz na dużą skalę. Modele te wykorzystują system siatki do dzielenia powierzchni Ziemi na liczne punkty do analizy i prognozowania. Dwa dobrze znane globalne modele pogodowe to Globalny System Prognoz (GFS) i model Europejskiego Centrum Prognoz Średnioterminowych (ECMWF). Global Forecast System (GFS) to globalny numeryczny model prognozowania pogody opracowany przez National Weather Service (NWS) w Stanach Zjednoczonych. Wykorzystuje złożony system równań matematycznych do symulacji warunków atmosferycznych na całym świecie. Model GFS zapewnia prognozy dla szerokiego zakresu zjawisk pogodowych, w tym temperatury, opadów, wiatru i ciśnienia atmosferycznego. Model Europejskiego Centrum Prognoz Średnioterminowych (ECMWF) to kolejny globalny numeryczny model prognozowania pogody, który jest wysoko ceniony za swoją dokładność. Wykorzystuje zaawansowane techniki asymilacji danych i zaawansowane algoryt-

my numeryczne do symulacji procesów atmosferycznych. Model ECMWF zapewnia prognozy o wysokiej rozdzielczości dla różnych zmiennych meteorologicznych, umożliwiając prognozom dokonywanie bardziej precyzyjnych prognoz.

Mezoskalowe numeryczne modele prognozowania pogody koncentrują się na określonych regionach i zapewniają prognozy w wyższej rozdzielczości w porównaniu z modelami globalnymi. Modele te są szczególnie przydatne do przewidywania lokalnych zjawisk pogodowych i gwałtownych zdarzeń pogodowych. North American Mesoscale Forecast System (NAM) to mezoskalowy model prognozy pogody opracowany przez National Centers for Environmental Prediction (NCEP) w Stanach Zjednoczonych. Oferuje prognozy o wysokiej rozdzielczości dla Ameryki Północnej, w tym szczegółowe prognozy temperatury, wiatru, opadów i niestabilności atmosferycznej. Model NAM odgrywa istotną rolę w przewidywaniu silnych burz, burz zimowych i innych mezoskalowych cech pogodowych. Model High-Resolution Rapid Refresh (HRRR) to kolejny model mezoskalowy szeroko stosowany w prognozowaniu pogody. Zapewnia krótkoterminowe prognozy z bardzo wysoką rozdzielczością czasową i przestrzenną, dzięki czemu jest przydatny do przewidywania szybko zmieniających się zjawisk pogodowych, takich jak burze, systemy konwekcyjne i mgła. Model HRRR wykorzystuje zaawansowane techniki asymilacji i dane radarowe w celu zwiększenia dokładności prognozy.

W przeciwieństwie do modeli prognoz pogody na większą skalę, które obejmują większe regiony, takie jak kraje lub kontynenty, **modele w mikroskali** dotyczą małych obszarów, takich jak miasta lub dzielnice. Modele w mikroskali uwzględniają unikalne cechy lokalnego terenu, użytkowania gruntów i cech miejskich, które mogą znacząco wpływać na wzorce pogodowe na małym obszarze. Modele te wykorzystują dane o wysokiej rozdzielczości i złożone algorytmy do symulacji procesów atmosferycznych w drobnej skali, umożliwiając analizowanie szczegółów, takich jak lokalne wzorce wiatru, wahania temperatury, czy wpływ miejskich wysp ciepła na klimat lokalny.

Różne modele prognoz pogody mogą generować różne prognozy ze względu na kilka czynników:

- ▶ rozdzielczość (modele o wyższej rozdzielczości mogą dokładniej rejestrować obiekty pogodowe w małej skali);
- ▶ algorytmy (każdy model prognozy pogody wykorzystuje różne równania matematyczne i algorytmy, co może prowadzić do różnic w wynikach prognozy);
- ▶ warunki początkowe (jednym z kluczowych czynników wpływających na dokładność prognozy pogody jest jakość danych, które są używane do tworzenia modeli matematycznych: im dokładniejsze dane wejściowe, tym lepsza jakość prognozy; dane te są używane do inicjalizacji symulacji modelu);

- asymilację danych (modele prognoz pogody asymilują różne źródła danych obserwacyjnych, a różnice w metodach asymilacji danych mogą wpływać na wyniki prognoz).

Aby uzyskać doskonałą prognozę, która dokładnie odwzorowuje rzeczywistą pogodę, programiści potrzebowaliby wszystkich aktualnych warunków dla każdego punktu na powierzchni Ziemi. Ponadto potrzebowaliby modelu, którego konstrukcja mogłaby zebrać wszystkie te odczyty i wygenerować dokładną prognozę pogody dla każdego z tych punktów. Ponieważ programiści pracują na niekompletnym wstępnym zbiorze danych (obecnie niemożliwe jest jednocześnie zmierzenie każdego miejsca na Ziemi), opracowali różne technologie, aby zwiększyć prawdopodobieństwo prognozy. Techniki te dają bardzo dobre rezultaty, ale nie są doskonałe. Czynniki te przyczyniają się do rozbieżnych prognoz między modelami prognoz pogody, podkreślając potrzebę rozważenia przez prognostów prognozowania zespołowego i przeanalizowania wielu wyników modelu w celu uzyskania kompleksowego zrozumienia możliwych scenariuszy pogodowych. Sama dokładność modeli numerycznych pogody zależy od kilku czynników, w tym regionu, ram czasowych i rodzaju przewidywanego zjawiska pogodowego. Ogólnie rzecz biorąc, globalne modele prognozowania pogody, takie jak ECMWF i GFS, są uważane za dość dokładne w przewidywaniu wzorców i funkcji pogodowych na dużą skalę. Jednak dokładność prognozy pogody może z czasem maleć wraz z wydłużaniem się horyzontu prognozy. Aby zapewnić najdokładniejsze prognozy pogody, Climavision, wiodący dostawca informacji o pogodzie, wykorzystuje zaawansowaną technologię klimatyczną i najnowocześniejsze modelowanie numerycznych prognoz pogody (NWP). NWP jest powszechnie uznawana za najdokładniejszą metodę prognozowania pogody, wykorzystującą złożone algorytmy matematyczne do symulacji zachowania atmosfery. Najnowocześniejsza technologia Climavision, w tym Dalton AI, umożliwia szybkie tworzenie bardzo dokładnych prognoz, wzmacniając pozycję firm, społeczności i jednostki, aby podejmować świadome decyzje i wyprzedzać wyzwania związane z pogodą.

Prognozowanie pogody wykorzystuje różne metody przewidywania przyszłych warunków atmosferycznych.

Metoda klimatologiczna opiera się na historycznych danych pogodowych w celu prognozowania przyszłych warunków pogodowych. Analizuje długoterminowe średnie wzorce pogodowe dla określonej lokalizacji i pory roku. Jednak metoda ta nie jest w stanie uwzględnić krótkoterminowych wahań pogody i jest mniej skuteczna w przewidywaniu nietypowych lub ekstremalnych zdarzeń pogodowych.

Metoda analogowa identyfikuje i porównuje obecne wzorce pogodowe z podobnymi wzorcami obserwowanymi w przeszłości. Znajdując analogie, prognoście mogą przewidzieć przyszłe warunki pogodowe na podstawie wyników tych poprzednich wydarzeń. Metoda ta wymaga obszernych historycznych danych pogodowych i opiera się na subiektywnej ocenie przy wyborze odpowiednich analogów.

Metoda modelowania numerycznego (NWP) jest najczęściej stosowaną i najdokładniejszą metodą. Polega ona na rozwiązaniu zestawu równań matematycznych, które reprezentują podstawowe prawa fizyki rządzące atmosferą. Modele NWP symulują zachowanie atmosfery, umożliwiając synoptykom generowanie szczegółowych prognoz dla różnych zmiennych pogodowych. Przykładem zastosowania modelowania numerycznego może być pakiet produktów zespołu Climavision, opartych na wykorzystaniu sztucznej inteligencji. Umożliwiają one pozyskiwanie krótkoterminowych prognoz o wysokiej rozdzielczości, po długoterminowe prognozy o zasięgu globalnym⁷.

5. Podsumowanie

Dostępność środków finansowych z Unii Europejskiej determinuje tworzenie w przestrzeni lokalnej bardziej zaawansowanych technicznie systemów ostrzegania przed wystąpieniem zagrożeń środowiskowych. Wyznacznikiem postępu technicznego w Polsce w sferze osłony przed zagrożeniami hydrometeorologicznymi może być częściowo zmodernizowany i uzupełniony o nowe urządzenia system informacji radarowej POLRAD, pokrywający swoim zasięgiem obszar niemal całego kraju. Postęp w dziedzinie pozyskiwania i przetwarzania informacji przestrzennej determinuje powstanie bardziej złożonych projektów i utworzenie systemu poprawiającego osłonę gospodarki, środowiska i społeczeństwa przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, w szczególności przed powodzią i zagrożeniami meteorologicznymi. Jednym z powodów podjęcia działań zwiększających bezpieczeństwo Polski w kontekście powodzi jest Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, potocznie zwana Dyrektywą powodziową. Weszła ona w życie 26 listopada 2007 roku i nałożyła na państwa członkowskie obowiązek przygotowania dokumentów planistycznych w zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym oraz zapewnienia społeczeństwu do nich dostępu. Realizacja pro-

⁷ Więcej na stronie: Hyper-Accurate Weather Forecasting with Climavision, <https://climavision.com/>

jektu stanowi również istotny postęp we wdrażaniu Dyrektywy INSPIRE, ustanawiającej jednolitą infrastrukturę informacji przestrzennej. W Polsce efektem końcowym projektu ma być elektroniczna platforma informatyczna, która ma stanowić ważne narzędzie w systemie zarządzania kryzysowego. System ISOK – bo o nim mowa – ma być wyposażony w portale służące do zaawansowanej prezentacji informacji i map wytworzonych w systemie, a także pochodzących ze źródeł zewnętrznych. Ma on służyć przede wszystkim jednostkom administracji i instytucjom odpowiedzialnym na wszystkich szczeblach za zarządzanie kryzysowe. Będzie również prezentował dane wszystkim zainteresowanym osobom i instytucjom. Istotną cechą systemu będzie udostępnianie usług sieciowych w architekturze SOA (Service Oriented Architecture) oraz usług zgodnych z dyrektywą INSPIRE. W założeniu system ISOK stanie się elementem Krajowej Infrastruktury Informacji Przestrzennej i powiązany będzie z innymi systemami: Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, Regionalnych i Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej i Ministerstwa Administracji i Cyfryzacji.

Za sprawny przepływ informacji między organami i strukturami odpowiedzialnymi za zarządzanie kryzysowe w kraju odpowiada Rządowe Centrum Bezpieczeństwa (RCB, b.d.).

Sprawnie działający system ISOK będzie naszym wkładem do rozwoju europejskiego projektu Copernicus (Copernicus, 2022; Space Component, b.d.; Milagro-Perez & Potin, 2024), a później Globalnego Systemu Obserwacji Ziemi GEOSS (Aschbacher & Milagro-Perez, 2012). GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) w sposób integralny łączy się z programem GMES (Global Monitoring of Environment and Security) Komisji Europejskiej, w ramach którego powstanie w pełni autonomiczny, niezależny od USA, system monitoringu satelitarnego Europy i Ziemi. Jednak zawsze należy pamiętać, że nawet najbardziej zaawansowane systemy ostrzegania dają nam „tylko” więcej czasu na przygotowanie, by ograniczyć straty ludzkie i materialne w wypadku wystąpienia katastrofalnych zjawisk. Możemy, poprzez inwestycje w infrastrukturę, ograniczać skutki ich oddziaływania, znaleźć bezpieczne schronienie w wypadku ogłoszenia alarmu. Ważne, aby umieć zachować się w sytuacji kryzysowej oraz wiedzieć, gdzie i w jaki sposób szukać pomocy.

Bibliografia

- Aschbacher, J., & Milagro-Perez, M. (2012). The European Earth monitoring (GMES) programme: status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 120, 3–8.
- Butler, D. (2014). Earth observation enters next phase — Expectations high as first European Sentinel satellite launches. *Nature. International Journal of Science*, 508, 160–161.
- Copernicus. (2022). Copernicus — europejski program obserwacji Ziemi <https://climate-adapt.eea.europa.eu/pl/metadata/portals/copernicus-the-european-earth-observation-programme>
- Encyklopedia PWN. (b.d.). <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/systemy-informacji-prze-strzennej;3982240.html>
- ISOK. (b.d.). Informatyczny System Ochrony Kraju. <https://www.isok.gov.pl/index.html>
- Klucze do obserwacji. (b.d.). Stowarzyszenie Klimatologów Polskich. <https://klimatolodzy.pl/index.php/pl/baza-wiedzy/elementy-meteorologiczne/klucze-do-obszerwacji-meteorologicznych>
- Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Badań Naukowych i Innowacji. (2024). *Emerging digital technologies in the public sector: the case of virtual worlds*. Urząd Publikacji Unii Europejskiej. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/398037>
- Milagro-Perez, M., & Potin, P. (2024). Copernicus Space Component Evolution. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 120, 3–8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443132209000184>
- Nowy europejski plan na rzecz innowacji. (2022). https://poland.representation.ec.europa.eu/news/nowy-europejski-plan-na-rzecz-innowacji-2022-07-05_pl
- Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego. (b.d.). <https://www.gov.pl/web/wody-polskie/mapy-zagrozenia-powodziowego-i-mapy-ryzyka-powodziowego>
- RCB. (b.d.). Zagrożenia, analizy i oceny. Biuletyn analityczny Rządowego Centrum Bezpieczeństwa. <https://www.gov.pl/web/rcb/zagrozenia-analizy-i-oceny>
- Sieć radarów POLRAD — charakterystyka i znaczenie dla pilotów. (2018). <https://dlapilota.pl/wiadomosci/imgw/siec-radarow-polrad-charakterystyka-i-znaczenie-dla-pilotow>
- Space Component. (b.d.). https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Space_Component

Methods of Digital Information Processing Used in Early Warning Systems

Abstract. Extreme weather phenomena pose an increasing threat to human life and health and cause significant damage to property. This is why various measures are adopted to ensure that crisis management systems are capable of effectively preventing or mitigating the effects of natural disasters. The article presents information about methods of acquiring, processing and mapping digital data as part of the security policy concerning extreme weather phenomena, including the general characteristics of Poland's National Protection Information System. The author also describes the main features of numerical models used for weather monitoring and forecasting.

Keywords: extreme weather phenomena, crisis management, spatial information systems, metadata, National Protection Information System, early warning system, satellite data sources, radar protection system

