



POLITECHNIKA KRAKOWSKA im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Środowiska
Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej



Sebastian JASTRZĘBSKI

**Weryfikacja ultrakrótkoterminowych prognoz
wysokości opadu atmosferycznego dla obszaru
powiatu żywieckiego**

Praca inżynierska
Nr pracy: 2452

Studia **Stacjonarne I stopnia**
Kierunek studiów: **Ochrona środowiska**
Specjalność: **Monitoring i zarządzanie środowiskiem**

Praca wykonana pod kierunkiem:
dr inż. Robert Szczepanek

Recenzent:
dr hab.inż. Wiesław Gądek, prof.PK

Ocena pracy:

Kraków, 2012

Oświadczenie kierującego pracą

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

.....
data

.....
podpis kierującego pracą

Załącznik
do zarządzenia Nr 37
Rektora PK z dnia
31 października 2006r.

Oświadczenie

Ja, niżej podpisany(a) **Sebastian JASTRZĘBSKI**, student(ka) Wydziału inżynierii Środowiska oświadczam, że przedkładaną pracę dyplomową inżynierską pt.:

Weryfikacja ultrakrótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego dla obszaru powiatu żywieckiego

wykonałem(am) samodzielnie, tzn. nie zlecałem(am) opracowania pracy dyplomowej, ani jej części osobom trzecim, jak również nie odpisywałem pracy dyplomowej, ani jej części od innych osób.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że w przypadku stwierdzenia popełnienia przeze mnie czynu polegającego na przypisaniu sobie autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzej pracy lub ustalenia naukowego, właściwy organ stwierdzi nieważność postępowania w sprawie nadania mi tytułu zawodowego (art. 193 ustawy z dnia 27 lipca 2005r – Prawo o szkolnictwie wyższym, Dz. U. Nr 164 poz. 1365, z późniejszymi zmianami).

.....
data

.....
podpis

*Pracę tę dedykuję
moim Rodzicom w podziękowaniu za ich nieustanne wsparcie.*

Spis treści

Spis treści	i
1 Wstęp	1
2 Prognozy meteorologiczne	2
2.1 Historia numerycznych prognoz pogody	4
2.2 Współczesne numeryczne prognozy pogody	5
2.3 Numeryczne prognozy pogody w Polsce	7
2.4 Etapy powstawania numerycznej prognozy pogody	8
2.5 Niedoskonałość prognoz numerycznych	10
3 Materiały i metody	11
3.1 Ogólna charakterystyka powiatu żywieckiego	12
3.1.1 Położenie geograficzne i hydrografia	12
3.1.2 Klimat	12
3.2 Charakterystyka Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych	13
3.3 Dane pomiarowe	14
3.4 Dane prognostyczne	15
3.5 Weryfikacja źródła danych i metodyki powstawania prognoz serwisu TVN Meteo	16
3.6 Metody weryfikacji ultrakrótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego	19
4 Analiza	21
4.1 Analiza danych pomiarowych	21
4.2 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 3.07.2011	23
4.3 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 20.07.2011	24
4.4 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 23.07.2011	26
4.5 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 25.07.2011	28
4.6 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 27.07.2011	29
4.7 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 31.07.2011	31

4.8 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 1.08.2011	32
5 Dyskusja wyników	35
6 Podsumowanie	37
7 Wnioski	39
Bibliografia	41
Spis rysunków	43
Spis tabel	44

Rozdział 1

Wstęp

Krótkoterminowe oraz ultrakrótkoterminowe prognozy pogody w ciągu ostatnich kilkunastu lat stały się ogólnodostępnym źródłem informacji o pogodzie. Początkowo powstawały one jedynie na potrzeby wojskowe oraz lotnicze, głównie z powodu złożonego oraz wysoce kosztownego procesu ich tworzenia. Szybki rozwój technologii w dziedzinie informatyki, telekomunikacji oraz teledetekcji przyczynił się również do rozwoju metod prognozowania czego wynikiem jest coraz szersza dostępność tego typu produktów.

Ultrakrótkoterminowe prognozy wysokości opadu atmosferycznego dla obszarów górskich stają się obecnie wysoce pożądanym produktem zarówno na potrzeby prywatne jak i zarządzania kryzysowego, w związku z czym rosną wymagania dotyczące ich dokładności czasowej, ilościowej oraz przestrzennej.

Ogólnodostępność tego typu prognoz skutkuje powszechnym ich użytkowaniem, należy jednak zastanowić się nad ich dokładnością w przewidywaniu wysokości oraz czasu wystąpienia opadu atmosferycznego. W tym celu należy dokonać weryfikacji ultrakrótkoterminowych prognoz opadu atmosferycznego wykorzystując dane prognostyczne, a następnie porównać je z danymi źródłowymi pochodzącymi z lokalnego monitoringu meteorologicznego. O tym zagadnieniu traktować będzie niniejsza praca.

Celem pracy jest weryfikacja prognozowanej wysokości oraz czasu występowania opadu atmosferycznego. Praca polega na zebraniu danych z serwisu internetowego TVN Meteo, przedstawiających prognozy opadu na terenie powiatu żywieckiego, następnie porównaniu prognozowanych wysokości opadu oraz godziny jego wystąpienia z danymi źródłowymi pochodzącymi z automatycznego Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych działającego na terenie powiatu żywieckiego.

Rozdział 2

Prognozy meteorologiczne

Pogoda jest to stan atmosfery w danej chwili, określany przez elementy meteorologiczne. A więc prognoza pogody jest to przewidywanie stanu atmosfery i związanych z nim zjawisk meteorologicznych dotyczących określonego obszaru, obejmujące pewien okres czasu. Prognozy możemy dzielić ze względu na metodę wykorzystaną w celu ich sporządzenia lub okres czasowy, którego dotyczą. Można wyróżnić klasyfikacje prognozy ze względu na wykorzystywaną metodykę (21) (6). Przedstawia się ona następująco:

- prognozy oparte na równaniach fizycznych
- prognozy oparte na statystyce
- prognozy oparte na doświadczeniu (subiektywne)
- prognozy numeryczne

Prognozy fizyczne opierają się o poszukiwania związków pomiędzy elementami pogody. Związki te zapisuje się następnie za pomocą równań matematycznych. Rozwiązanie tych równań fizycznych prowadzi do określenia kierunku rozwoju zjawisk fizycznych zachodzących w atmosferze Prognozy statystyczne natomiast wykorzystują dane historyczne dotyczące stanu pogody. Poddając je obróbce statystycznej polegającej na odnalezieniu parametrów silnie skorelowanych z parametrami, których wystąpienie zamierzamy przewidzieć (tzw. predyktorów) i w oparciu o nie tworzy się ostateczną prognozę. Przewidywanie pogody może się również opierać na doświadczeniu, wiedzy oraz intuicji synoptyka, który na podstawie naniesionych na mapę danych obserwacyjnych wykonuje subiektywną prognozę. Pomimo wysokiego tempa rozwoju metod obiektywnych, takich jak np. modelowanie numeryczne, prognozy subiektywne nadal są najczęściej stosowaną metodą wykorzystywaną również do interpretacji prognoz statystycznych oraz numerycznych (10). Najnowszą i obecnie powszechnie stosowaną metodą jest prognoza numeryczna często uzupełniana jednak o poprawki naniesione przez synoptyka (20). Metoda ta zostanie opisana szerzej w dalszej części pracy.

Prognozy pogody można również podzielić ze względu na kryterium okresu, którego one dotyczą. Na potrzeby tej pracy przyjmuje się podział stosowany przez Światową Organizację Meteorologiczną (World Meteorological Organisation). Podział ten wygląda następująco:

- prognozy natychmiastowe (*nowcast*) — dotyczące najbliższych od 0 do 2 godzin
- prognozy ultrakrótkoterminowe (*very short-range weather forecast*) — dotyczące maksymalnie najbliższych 12 godzin
- prognozy krótkoterminowe (*short-range weather forecast*) — obejmują okres od 12 do 72 godzin
- prognozy średnioterminowe (*medium-range weather forecast*) — obejmują okres od 72 do 240 godzin
- prognozy długoterminowe (*long-range weather forecast*) — obejmują okres od 10 dni do nawet 2 lat

Numeryczne prognozy pogody są obecnie najszybciej rozwijającymi się metodami przewidywania stanu pogody. Powstają dzięki wykorzystaniu modeli hydrodynamicznych atmosfery. Prognozy te są obliczane przy użyciu superkomputerów na podstawie równań fizyki atmosfery. Atmosfera ziemską jest bardzo skomplikowanym układem o dużej dynamice zachodzących w niej procesów, co stwarza ogromne problemy w kwestii obliczeniowej. Tworzenie numerycznej prognozy pogody musi uwzględniać równania opisujące procesy dynamiczne i termodynamiczne przebiegające w atmosferze. Aby uzyskać najdokładniejszą prognozę należałoby dokonywać obliczeń dla całej powierzchni Ziemi w jak największej rozdzielczości. Jednak takie rozwiązanie wymagałoby ogromnej mocy obliczeniowej, którą nie dysponuje obecnie żadna służba meteorologiczna. Stworzono więc podział modeli numerycznych według skali przestrzennej (9):

- modele globalne
- modele regionalne
- modele mezoskalowe

Każde z nich charakteryzuje się określoną rozdzielczością odpowiednią dla skali przestrzennej danej prognozy. Modele globalne obliczają prognozę dla całej powierzchni Ziemi lecz posiadają najmniejszą rozdzielczość. Pojedyncze pole siatki obliczeniowej obejmuje swoim zasięgiem tysiące kilometrów kwadratowych. Natomiast modele mezoskalowe dokonują obliczeń dla obszarów pojedynczych państw (na przykład model LM COSMO obejmuje zasięgiem obszar terytorium Polski).

Pełne modele numeryczne, które wykorzystuje się do obliczania numerycznej prognozy pogody nazywa się numerycznymi modelami prognostycznymi. Każdy model ma swoją unikalną charakterystykę wynikającą z wielu czynników począwszy od wiedzy

i doświadczenia twórców takowego modelu, po maksymalną, technologicznie możliwą, moc obliczeniową, którą będzie się wykorzystywać do jego obliczeń. Składają się one z trzech części (9):

- zamkniętego układu równań opisujących zjawiska fizyczne w atmosferze (układ taki stanowi matematyczny model meteorologiczny)
- algorytmów numerycznego rozwiązania równań modelu matematycznego
- kodu, który umożliwia uzyskanie rozwiązania na konkretnym superkomputerze

2.1 Historia numerycznych prognoz pogody

Impulsem dla rozwoju i unowocześnienia metod tworzenia prognoz pogody był katastrofalny w skutkach sztorm, który w 1854 roku docierając do wybrzeży Krymu zatopił w porcie Bakaława 39 statków oraz okrętów wojennych. O zbadanie przyczyn jego wystąpienia i ewentualnych metod prognozowania tego typu zjawisk został poproszony ówczesny dyrektor Obserwatorium Paryskiego - Urbain Le Verrier. W wyniku analizy prowadzonych wtedy regularnie obserwacji meteorologicznych stwierdzono, że sztorm ten uformował się dwa dni przed dotarciem do wybrzeży Krymu. W przypadku gdyby istniał wówczas system szybkiego przekazywania oraz odpowiedniej analizy danych pochodzących z pomiarów i obserwacji meteorologicznych można było zapobiec tej katastrofie (9). Rozwój telekomunikacji w drugiej połowie XIX wieku pozwalał na przesyłanie za pomocą telegrafu danych o stanie pogody do określonego centrum meteorologicznego. Dane te pochodziły z przeprowadzanych jednocześnie (oraz tą samą metodą) pomiarów, można więc nazwać je pomiarami i obserwacjami synoptycznymi (6). Umożliwiło to sporządzanie map pogody oraz analizę warunków meteorologicznych w określonej chwili czasu na znacznym obszarze. Pierwszy taki system opracował Robert FitzRoy. System ten składał się z 15 stacji meteorologicznych, z których dane były przesyłane za pomocą telegrafu. Pierwsza ogólnodostępna prognoza pogody pochodząca z tego projektu została opublikowana w dzienniku „The Times” 1 sierpnia 1861 (7). Niestety analiza kolejnych map pozwalała jedynie na obserwację rozwoju sytuacji meteorologicznej, natomiast w celu opracowania prognozy należało wyniki tych obserwacji ekstrapolować w czasie. Ponieważ ówczesny poziom wiedzy na temat tego typu działań był niewielki, jakość prognoz zależała w dużym stopniu od doświadczenia i szczęścia synoptyka, który ją opracowywał (9). Na początku XX wieku norweski meteorolog oraz fizyk Vilhelm Bjerknes korzystając z wyników wielu prac naukowych w dziedzinie mechaniki płynów (m.in. Williama Thompsona (Lord Kelvin) oraz polskiego fizyka Ludwika Silbersteina) zaproponował układ równań opisujący rozwój pól meteorologicznych w czasie, w wyniku czego stosując prawa hydrodynamiki i termodynamiki do opisów przepływów atmosferycznych udało mu się stworzyć podstawy nowoczesnej meteorologii dynamicznej. Skomplikowany układ równań różniczkowych cząstkowych nie nadawał się jednak do tworzenia prognoz pogody, gdyż jego ręczne

obliczenie było zbyt czasochłonne (9). Pierwsza w pełni numeryczna prognoza pogody została obliczona przez Lewisa Fry Richardsona, który zastąpił równania różniczkowe, równaniami różnicowymi. Opracował własną siatkę na obszarze Europy Zachodniej dzieląc ją na jednakowej wielkości, regularne kostki. Na podstawie danych pomiarowych z nierównomiernie umiejscowionych stacji pomiarowych w każdej kostce wyznaczył metodą interpolacji, początkowe wartości ciśnienia, temperatury, kierunku oraz prędkości wiatru. Następnie wykonując wszystkie rachunki ręcznie, obliczał kolejno przewidywane na sześć godzin później wartości pól w każdym oczku siatki (9). Wyniki tych żmudnych obliczeń różniły się jednak znacznie w porównaniu z danymi pochodzącymi z obserwacji. Wyniki obliczeń nie mogły być dobre, ponieważ L.F. Richardson nie znał kilku warunków matematycznych, jakie powinny spełniać pola siatki oraz kroki obliczeniowe i nie mógł ich znać gdyż w momencie przeprowadzania obliczeń nie były jeszcze odkryte. Kolejnym dużym błędem był brak asymilacji danych. Pomimo niepowodzenia opublikował wyniki swojej pracy w rozprawie “Weather Forecasting By Numerical Process”, co dało możliwość wyciągnięcia wniosków i doprowadziło do sprecyzowania podstawowych warunków analizy numerycznej oraz pomogło w rozwoju obliczeniowej mechaniki płynów (7).

Pierwsza poprawna matematycznie i numerycznie prognoza pogody została obliczona pod koniec 1952 roku na komputerze ENIAC — przez długi okres czasu uważanym, jako pierwszy komputer na świecie. Obliczenia przeprowadzone na tej ponad dwudziesto siedmio tonowej konstrukcji były również pierwszymi poprawnymi numerycznie rozwiązанныmi zagadnieniami obliczeniowej dynamiki płynów. Dokonał tego amerykański meteorolog Jule Charney, który zaproponował szereg uproszczeń układu równań przepływów atmosferycznych (9). Pomimo poprawności matematycznej oraz numerycznej pierwsze numeryczne prognozy pogody nie były dokładniejsze od tradycyjnych prognoz tworzonych przez doświadczonych meteorologów. Było to spowodowane wieloma czynnikami m.in. małą mocą obliczeniową ówczesnych komputerów. Natomiast tradycyjne prognozy wspierane przez szybko rozwijające się technologie radarowe oraz satelitarne stawały się coraz dokładniejsze, były również bardziej opłacalne ekonomicznie. Impulsem dla szybkiego rozwoju numerycznych prognoz stał się rozwój komputerów osobistych w połowie lat siedemdziesiątych, które oferowały co prawda mniejsze moce obliczeniowe od profesjonalnych komputerów, ale były łatwo dostępne za relatywnie niską cenę. Dzięki powstawaniu nowych metod numerycznego rozwiązywania równań różniczkowych oraz ciągłego udoskonalania układu równań dynamiki oraz termodynamiki, które zaczęły uwzględniać procesy radiacyjne w atmosferze, a także wzajemne oddziaływanie atmosfery z powierzchnią Ziemi, prognozy numeryczne stawały się coraz dokładniejsze (9).

2.2 Współczesne numeryczne prognozy pogody

Obecnie numeryczne prognozy pogody powstają na superkomputerach. Są to komputery osiągające wielokrotnie większe moce obliczeniowe od standardowych kompute-

rów osobistych. Powszechnie używaną jednostką mocy obliczeniowej komputerów jest FLOPS (FLoating point Operations Per Second), czyli liczba operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę. Rozwój superkomputerów pozwala na dokonywanie coraz większej ilości obliczeń w coraz krótszym czasie. Dla porównania komputer ENIAC posiadał moc obliczeniową na poziomie 5 kOPS (10^3 OPS) podczas, gdy najszybszy obecnie superkomputer "K - computer" posiada moc obliczeniową wynoszącą 10.51 PetaFLOPS (10^{15} FLOPS). Takie parametry pozwalają na wprowadzanie do modeli numerycznych większej ilości danych, a nawet możliwość wykonywania wielu cykli obliczeniowych równocześnie.

Rozwój numerycznych prognoz pogody nie ograniczał się jedynie do kwestii czysto technologicznych, ale obejmował również nowe podejście do rozwoju samych modeli numerycznych. Początkowo modele numeryczne były tworzone przez niewielkie zespoły zadaniowe działające przy uczelniach wyższych. Taki stan rzeczy powodował liczne ograniczenia m.in. czasowe oraz ekonomiczne. Wyniki prac były zamieszczane w publikacjach naukowych, co pozwalało na ewentualną dyskusję oraz wymianę doświadczeń w szerszym gronie. Nie powodowało to jednak ścisłej i ciągłej współpracy, gdyż poszczególne projekty badawcze niejednokrotnie stanowiły dla siebie konkurencję.

Obecnie stworzono nowy schemat prac nad poszczególnymi modelami numerycznymi. Polega on na międzynarodowej współpracy instytucji zajmujących się opracowywaniem prognoz pogody, co dotyczy w głównej mierze ścisłej kooperacji krajowych ośrodków meteorologicznych. W Europie w roku 1990 z inicjatywy Francuskiej Służby Meteorologicznej (Météo-France) powstał pomysł wspólnego projektu mającego na celu współpracę przy tworzeniu mezoskalowego numerycznego modelu prognozy pogody przeznaczonego dla państw europejskich. Początkowo do udziału w tym projekcie zostało zaproszonych 6 państw (w tym Polska, Czechy i Słowacja). W roku 1991 projektowi nadano nazwę ALADIN, określono również cel jakim było utworzenie, wprowadzenie do użytku oraz ciągłe ulepszanie mezoskalowego numerycznego modelu prognozy pogody o dużej rozdzielczości. Obecnie w ramach utworzonego konsorcjum ALADIN współpracują służby meteorologiczne 16 państw (w tym IMGW) (18). Kolejnym typem międzynarodowego projektu, w którym uczestniczy także polska służba meteorologiczna jest COSMO (Consortium for Small-scale Modeling). To przedsięwzięcie jest realizowane w ramach konsorcjum o tej samej nazwie. Jego celem jest opracowanie, ulepszenie i wdrożenie niehydrostatycznego atmosferycznego modelu prognostycznego o ograniczonym zasięgu terytorialnym. Model ten miał być używany zarówno w trybie operacyjnym, jak i badawczym. W ramach tego konsorcjum współpracują służby meteorologiczne z 7 państw (Niemcy, Szwajcaria, Włochy, Grecja, Polska, Rumunia, Rosja) (8). W wyniku tej współpracy zaimplementowano w Polsce model LM COSMO. Model ten jako pierwszy w Polsce został uruchomiony w trybie operacyjnym. Jest to tryb działania, w którym dane z obliczeń modelowych wprowadza się bezpośrednio do systemu tworzenia prognoz pogody.

Istnieją również modele utworzone przez pojedyncze jednostki takie jak model UM (Unified Model) stworzony przez Służby Meteorologiczne Wielkiej Brytanii czy też model COAMPS opracowany i rozwijany przez Laboratoria Badawcze Marynarki Wojennej USA (Naval Research Laboratory USA) (17), (16). Nad tymi modelami można prowadzić badania m.in. w celu ich ulepszenia po ówczesnym uzyskaniu licencji. Tego typu badania są prowadzone na całym świecie, również w Polsce (ICM). Odbywa się to głównie w ramach badań naukowych na uczelniach wyższych. Prowadzi to do ciągłego rozwoju tej dziedziny meteorologii.

Obecnie najintensywniejsze prace prowadzone są nad udoskonaleniem krótkoterminowych prognoz pogody. Wynika to z coraz powszechniejszego używania tego typu prognoz w modelowaniu lokalnych zagrożeń pogodowych (np. powodziowych). Prognozy te są również wykorzystywane w awiacji oraz żeglarstwie. Stawia to wysokie wymagania względem dokładności tego rodzaju prognozy. Zależenie od terminowości danej prognozy obliczenia modelowe muszą być przeprowadzane częściej (nawet co godzinę w przypadku prognoz natychmiastowych). Wymaga to ciągłego dostarczania aktualnych danych pochodzących z obserwacji meteorologicznych, aby móc dokładnie określić stan początkowy dla obliczeń modelu numerycznego. Jednym z pierwszych tego typu systemów jest Cykl Szybkiej Prognozy (Rapid Update Cycle) opracowany i wprowadzony do użytku w National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). W tym systemie dane meteorologiczne są pobierane i asymilowane do modelu na bieżąco. Prognozy są opracowywane co godzinę w trzech trybach operacyjnych (prognozy natychmiastowe +1h, ultrakrótkoterminowe +12h, oraz krótkoterminowe +24h). Wszystkie te prognozy są na bieżąco zamieszczane na stronie internetowej w postaci meteogramów (dla ponad 600 punktów na terenie USA) map oraz bezpośrednich danych liczbowych gotowych do pobrania z udostępnionej bazy danych. Są one darmowe dla użytku niekomercyjnego (2).

2.3 Numeryczne prognozy pogody w Polsce

W Polsce numeryczne prognozy pogody nie rozwijają się tak szybko jak w krajach Europy zachodniej. Pierwszym numerycznym modelem zaimplementowanym w (w trybie operacyjnym) Polsce jest model LM COSMO, który pozyskano od Niemieckiej Służby Meteorologicznej (DWD) w ramach współpracy w Konsorcjum Modelowania Mezoskalowego (COSMO). Został on uruchomiony w 2001 roku na superkomputerze SGI Origin 3800 o szacowanej mocy obliczeniowej sięgającej 100 GigaFLOPS. Model ten obliczany był cztery razy dziennie w dwóch cyklach operacyjnych. Pierwszy cykl stanowiły obliczenia modelu dla rozdzielczości ‘oczka’ siatki wynoszącej 14 kilometrów, następnie dokonywano ponownych obliczeń tym razem dla rozdzielczości oczka siatki wynoszącej 7 kilometrów — operację tę wykonywano dwa razy w ciągu doby (13). Głównym mankamentem tej numerycznej prognozy pogody był brak asymilacji danych. Dane wejściowe do modelu takie jak warunki brzegowe oraz wstępnie przetwo-

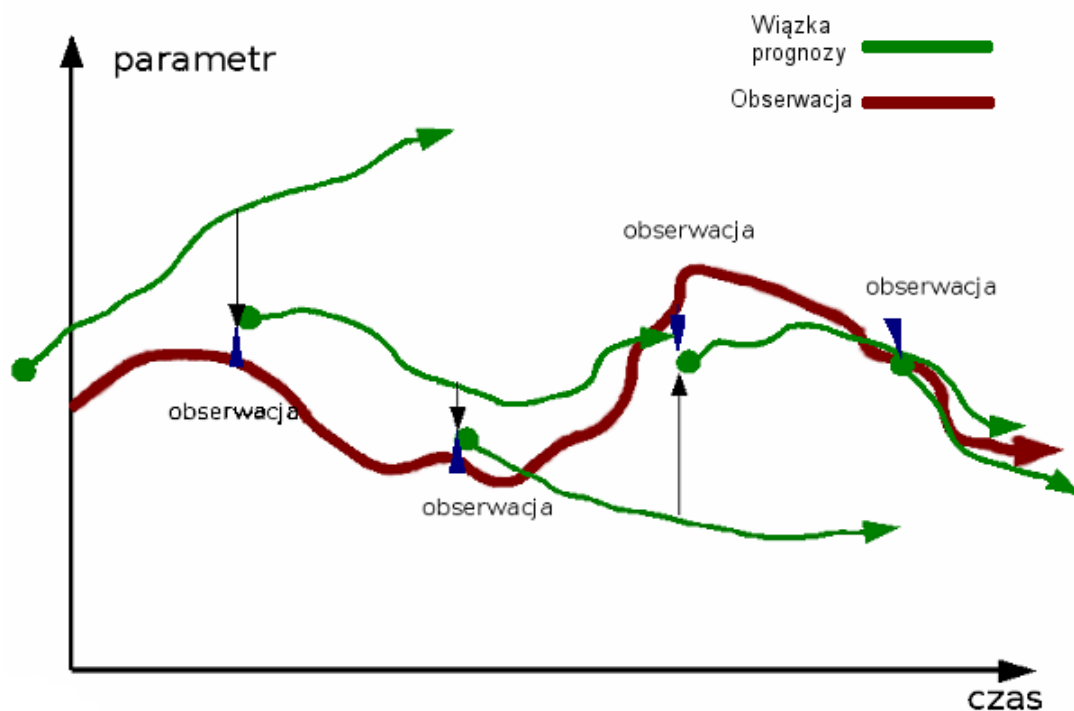
rzne dane pomiarowe były dostarczane do jednostki IMGW w Warszawie przez łącze internetowe bezpośrednio od Niemieckiej Służby Meteorologicznej i były one wprowadzane do lokalnego modelu bez jakiegokolwiek obróbki. Dopiero w roku 2010 wprowadzono własny system asymilacji danych dla modelu numerycznego prognozy pogody w IMGW (4).

Obecnie badaniami nad numerycznymi metodami prognozowania w Polsce najaktywniej zajmuje się Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego działające na Uniwersytecie Warszawskim.

2.4 Etapy powstawania numerycznej prognozy pogody

Pierwszym etapem tworzenia numerycznej prognozy pogody jest pobór danych pochodzących z obserwacji meteorologicznych. Następną procedurą przeprowadzaną w celu uzyskania prognozy jest asymilacja danych meteorologicznych. Jest to proces analizy danych uwzględniający zarówno pomiary jak i wyniki modelu prognostycznego. Polega na interpolacji czasowej i przestrzennej danych (uwzględniając również informacje przychodzące niesynchronicznie), a następnie właściwym ich wprowadzeniu do modelu (5),(12). Procedura ta dzieli się na dwa etapy, pierwszy z nich polega na weryfikacji danych, które mają zostać wprowadzone do modelu. Należy uwzględnić, że błędy mogą pojawiać się już w czasie obserwacji i mogą wynikać z przyczyn czysto technicznych takich jak błędy aparatury pomiarowej, błędy powstałe w czasie zapisu danych pomiarowych lub też zakłócenia w transmisji danych. Powinno się również brać pod uwagę problem ich reprezentatywności. Kolejny proces polega na przyjęciu danych wejściowych dla modelu, ponieważ model prognostyczny rozpoczyna swoje obliczenia od pewnej chwili czasu, a do momentu następnego pomiaru synchronicznego (synoptycznego) mogą pojawiać się dane innego typu (np. dane satelitarne czy radarowe), należy sprowadzić te dane do poziomu czasowego, z którego aktualnie startuje model. Przygotowane w ten sposób dane można wprowadzić do modelu, nie jest to jednak koniec tego procesu. Asymilację danych przeprowadza się również w trakcie obliczania prognozy numerycznej w celu redukcji rozbieżności obliczanych prognoz w stosunku do aktualnego stanu pogody (rys. 1), (10).

Drugim etapem tworzenia numerycznych prognoz jest inicjalizacja modelu, czyli proces polegający na przetwarzaniu warunków początkowych do postaci, która nie będzie zaburzać równowagi modelu (5). Proces ten polega na utworzeniu z danych początkowych pól początkowych dla wszystkich parametrów meteorologicznych uwzględnianych w modelu. Pola te muszą być zgodne ze sobą — muszą spełniać zależności zakodowane w równaniach modelu, są one również powiązane z siatką obliczeniową, czyli wirtualną postacią modelu prognostycznego (12). Wymiary pojedynczego pola (tzw. oczko) siatki w planie zależą od skali modelu numerycznego, np. dla modelu mezoskalowego rozmiar ten mieści się w przedziale od kilku do kilkunastu kilometrów. Natomiast w pionie siatka obejmuje obszar troposfery oraz zależnie od modelu również



Rysunek 1: Schemat asimilacji danych w trakcie obliczeń modelu prognostycznego (opracowanie własne na podstawie (9))

stratosfery. Składa się na nią kilkadziesiąt poziomów zagęszczających się w najniższych warstwach atmosfery — tworzy to więc szereg komórek, dla których prowadzone będą dalsze obliczenia (10).

Po udanym przeprowadzeniu procesu inicjalizacji można przeprowadzić obliczenia ewolucji pól meteorologicznych. Obliczenia te wykonywane są w oparciu o równania przepływów atmosferycznych (uwzględniane są również równania dynamiki i termodynamiki). Natomiast dla każdego modelu numerycznego, w trakcie jego rozwoju, powstają dodatkowe równania mające na celu wprowadzanie niezbędnych poprawek, przez co zwiększa się jego dokładność (10). Niezwykle ważny jest również proces parametryzacji, czyli wprowadzenia uproszczeń dla zjawisk, których rozmiar jest mniejszy lub równy wymiarom pojedynczego oczka siatki, oraz dla procesów zbyt złożonych, aby móc je zawrzeć w całości w modelu numerycznym. Problem ten dotyczy między innymi procesów chmurotwórczych oraz promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi przy zmiennym zachmurzeniu. Istnieje wiele metod parametryzacji od najprostszych takich jak wprowadzanie wartości zmiennej po bardziej rozbudowane w postaci układów równań. Proces ten w zależności od skali modelu, może powodować mniejsze lub większe zakłócenia w obliczeniach modelu – spowodowane wprowadzaniem uproszczeń procesów fizycznych (19). Jest to niezgodne z głównym założeniem numerycznego prognozowania pogody czyli jak najwierniejszego odtwarzania procesów fizycznych w atmosferze. Można natomiast powstałe błędy niwelować w trakcie obróbki statystycznej danych

wyjściowych (Model Output Statistics). Proces ten ma na celu zwiększenie dokładności utworzonej na drodze obliczeń modelowych prognozy. Nie jest on jednak stosowany na szeroką skalę w pierwotnej postaci, został opracowany i wdrożony w systemach National Weather Service w USA.

2.5 Niedoskonałość prognoz numerycznych

Pomimo ciągłego rozwoju zarówno technologicznego jak i badawczo-naukowego numeryczne prognozy pogody na dzień dzisiejszy nie mogą osiągnąć pełnej dokładności w przewidywaniu stanu pogody. Dowiódł tego w swojej pracy badawczej “Deterministic Nonperiodic Flow” Edward Norton Lorenz, którą opublikował w 1963 roku. W swoich badaniach przedstawił układ trzech równań różniczkowych zwyczajnych, opisujących zjawiska atmosferyczne. Równania te pomogły mu wykazać, że nawet niewielka zmiana w jednym z punktów atmosfery może być przyczyną wielkich zmian w innym jej obszarze. W celu wyjaśnienia swojego odkrycia sformułował słynne zdanie: “nawet machnięcie skrzydeł motyla w Brazylii może wywołać tornado w Teksasie”. Stąd wywodzi się popularna nazwa “Efektu motyla” powszechnie używana w różnych dziedzinach nauki. Przyczyną tego zjawiska jest własność równań lub układów równań nazywana chaosem deterministycznym, polegająca na dużej wrażliwości rozwiązań na dowolnie małe zaburzenie parametrów. Dotyczy ona również nieliniowych równań różniczkowych i różnicowych opisujących układy dynamiczne - wykorzystywanych do tworzenia numerycznych modeli prognostycznych (11). Nie jesteśmy więc w stanie stworzyć metodami numerycznymi prognozy doskonałej. Natomiast przy intensywnych badaniach nad konkretnym modelem i po dokładnym poznaniu jego charakterystyki, możemy określić jak bardzo wiarygodna jest utworzona prognoza. Metodą często wykorzystywaną do tego typu oszacowań jest tzw. wiązka prognoz. Polega ona na kilkukrotnym uruchomieniu obliczeń modelu dla różnych danych wejściowych określających otoczenie stanu początkowego w granicach błędu pomiaru (9). Taki proces pozwala dokładniej ustalić parametry początkowe. Jest on wykorzystywany w trakcie procesu asymilacji danych (12). Można zastosować również metodę wiązki wielomodelowej. Pozwala ona uwzględnić niepewności związane z niedokładną znajomością czy nieprecyzyjną reprezentacją zjawisk fizycznych w modelach (9). Jest to jednak metoda wymagająca rozbudowanej infrastruktury komputerowej tak, aby móc jednocześnie prowadzić obliczenia dla kilku modeli. Częściej wykorzystywanym rozwiązaniem jest tzw. zagnieżdżanie modeli. Polega ono na pobieraniu warunków brzegowych z modelu o większej skali. Warunki brzegowe są to parametry początkowe dla zewnętrznych krawędzi całej siatki modelowej (11), (20).

Rozdział 3

Materiały i metody

Znaczny obszar powiatu żywieckiego jest zagrożony powodzią. Jedną z wielu przyczyn występowania tego rodzaju zagrożenia są silne ulewy oraz deszcze nawalne występujące często w trakcie burz. Generują one lokalne wezbrania wód na rzece Soła. Soła jest rzeką bardzo niebezpieczną, o dużym potencjale powodziowym. Wyższy potencjał powodziowy wśród karpaccich dopływów Wisły posiada jedynie Dunajec (1). Wezbrania na Sole występują głównie w miesiącach letnich i charakteryzują się dużą gwałtownością oraz stosunkowo krótkim czasem trwania. Zbiorniki Kaskady Soły w znacznym stopniu zmniejszają zagrożenie powodziowe wywołane przez wezbrania Soły występujące w jej górnym biegu. Najgroźniejsze zjawiska zachodzące na tym terenie to duże powodzie występujące w okresie letnim (na przełomie czerwca i lipca), wywołane kilkudniowymi intensywnymi opadami(1), (3). Wystąpienie tego typu opadu oraz jego przybliżoną wysokość powinny określać prognozy krótkoterminowe oraz ultrakrótkoterminowe (20).

Ultrakrótkoterminowe prognozy wysokości opadu atmosferycznego są obecnie często wykorzystywanym źródłem danych dla lokalnych systemów ostrzegania przed zagrożeniem powodzią. Na podstawie danych hydrograficznych i przy wykorzystaniu ultrakrótkoterminowych prognoz oraz danych z lokalnego systemu monitoringu hydrometeorologicznego można opracować konkretny model hydrologiczny. Dzięki temu można przewidzieć zagrożenie powodziowe z większą niż dotychczas dokładnością oraz poinformować odpowiednie służby i mieszkańców. Dlatego bardzo ważna jest dokładność takich prognoz (20).

W powiecie żywieckim w ramach działań przeciwpowodziowych stworzono Lokalny Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych. Dane pochodzące z tego systemu mają służyć wczesnemu ostrzeganiu przed zagrożeniami związanymi z powodzią.

3.1 Ogólna charakterystyka powiatu żywieckiego

3.1.1 Położenie geograficzne i hydrografia

Powiat żywiecki położony jest w południowej części województwa śląskiego. Południowa granica powiatu stanowi równocześnie granicę państwa. Od strony zachodniej graniczy z powiatem cieszyńskim, od wschodu z powiatem suskim, natomiast od północy z powiatami bielskim i wadowickim. Na terenie powiatu znajduje się gmina miejska Żywiec oraz 14 gmin wiejskich. Powiat żywiecki leży w obrębie mezoregionów Beskidu Śląskiego, Beskidu Żywieckiego, Beskidu Małego oraz Kotliny Żywieckiej. Gęsta sieć hydrograficzna powiatu znajduje się na obszarze zlewni Wisły. Główną rzeką na terenie powiatu jest Soła wraz z jej dopływami. Charakterystyczną cechą hydrografii tego regionu jest występowanie antropogenicznych zbiorników wodnych na rzece Sole. Jest to tzw. Kaskada Soły, która obejmuje Jezioro Żywieckie (z zaporą i elektrownią w Tresnej), Jezioro Międzybrodzkie (z zaporą i elektrownią w Porąbce) oraz Czanieckie (z zaporą w Czańcu) (3).

3.1.2 Klimat

Powiat żywiecki kwalifikuje się do Karpackiej Strefy Ekoklimatycznej, jako Makroregion Ekoklimatyczny Gór Średnich Beskidu Śląskiego (3). Na podstawie średniej rocznej temperatury w Karpatach Zachodnich wyróżnia się sześć pięter klimatycznych związanych z piętrami roślinnymi. W Beskidzie Śląskim wykształcone są w zasadzie trzy piętra klimatyczne od umiarkowanie ciepłego do umiarkowanie zimnego w szczytowych partiach gór. Piętra klimatyczne wiążą się z układem piętrowym tutejszej roślinności. Do wysokości 900 m n.p.m. stoki porastają lasy mieszane, od 900 do 1150 m. n.p.m. występują lasy regla dolnego, składające się głównie ze świerka, z niewielką domieszką jodły i buka. Powyżej (od 1150 do 1360 m n.p.m.) znajduje się piętro regla górnego, tworzone przez świerk. W najwyższych partiach występuje kosodrzewina i łąki wysokogórskie (tzw. hale) (3).

Klimat powiatu żywieckiego charakteryzuje się dużą zmiennością pogody, znaczną ilością opadów oraz silnymi i częstymi wiatrami. Występują tu także okresy pięknych słonecznych dni, szczególnie wczesnym latem i jesienią (tzw. wyże majowe i październikowe). Warunki klimatyczne tego obszaru kształtują masy powietrza różnego pochodzenia geograficznego. Największy udział mają masy powietrza polarno-morskiego (około 60% przypadków) oraz polarno-kontynentalnego (25% przypadków) (3). Obszar powiatu żywieckiego ze względu na swe ukształtowanie jest szczególnie narażony na przymrozki. Dni z przymrozkami występują na tym terenie około 110 razy w roku. Jedną z najważniejszych cech klimatu Kotliny Żywieckiej jest słaba wentylacja, co doprowadza do częstego występowania tutaj zastoisk chłodnego powietrza, powodujących silne i długotrwałe inwersje termiczne.

Roczne sumy opadów zwiększają się od podnóży ku szczytom gór. Przeciętna suma opadów wynosi dla piętra umiarkowanego chłodnego około 1400-1800 mm, natomiast

dla pięter niższych 1000-1100 mm rocznie. Wyraźnie więcej opadów otrzymują stoki o ekspozycji zachodniej (3). Potencjalny okres zalegania pokrywy śnieżnej wynosi od 65 do 140 dni. Śnieg pojawia się w górach już około listopada i utrzymuje się do kwietnia. Najdłużej pokrywa lodowa utrzymuje się w górnym dorzeczu Soły. Najobfitsze opady śniegu przypadają na przełom lutego i marca. Charakterystyczną cechą tutejszego klimatu jest występowanie dużej ilości opadów przekraczających 1200 mm rocznie (3).

Kierunek wiatru jest w znacznym stopniu uzależniony od ukształtowania terenu. W konkretnych warunkach terenowych przeważają wiatry wiejące z biegiem dolin, kotlin czy przełęczy. W porze wiosny i jesieni wieje tu wiatr halny.

Średnia roczna temperatura waha się od 5.4°C w partiach grzbietowych do 8.5°C w dolinie rzeki Soły. Najchłodniejszym miesiącem jest styczeń, natomiast najcieplejszym lipiec. Istotnym czynnikiem klimatycznym jest silny wiatr, który jest łagodzony przez otaczające góry (3).

3.2 Charakterystyka Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych

Lokalny System Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych działający na terenie powiatu żywieckiego powstał w ramach koncepcji stworzonej przy współpracy IMGW, Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie oraz Zespołu Zarządzania Kryzysowego Starostwa Powiatowego w Żywcu. Został on stworzony w celu prowadzenia ciągłego monitoringu hydrometeorologicznego z którego dane wykorzystywane są do sporządzania ostrzeżeń przeciwpowodziowych (3).

Na podstawie meteorologicznych danych obserwacyjnych pochodzących z Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych popartych prognozą meteorologiczną stworzoną przez IMGW (Oddział w Krakowie), można ogłosić stan pogotowia powodziowego. Szczegółowe wytyczne dotyczące takiej sytuacji zawarte zostały w Planie Operacyjnym Ochrony Przed Powodzią opracowanym w 2007 roku. Natomiast w przypadku przekroczenia stanów alarmowych Starosta Żywiecki może podjąć decyzję o ogłoszeniu alarmu przeciwpowodziowego (3).

System ten ma charakter rozwojowy i w okresie sporządzania niniejszej pracy zachodziły w nim zmiany.

System automatycznego monitoringu hydrometeorologicznego w powiecie żywieckim scharakteryzowano na podstawie danych zamieszczonych na stronie internetowej <http://www.traxelektronik.pl/pogoda/zywiec/>. Według listy znajdującej się na stronie głównej, przedstawiającej wszystkie stacje i posterunki, ich liczba wynosi obecnie 28 sztuk. Natomiast naniesionych na mapie zostało 26 stacji i posterunków. Nie przedstawiono graficznie lokalizacji stacji (lub posterunków) Cisiec oraz Las, nie zostały one również przypisane do pozostałych czterech list rozwijalnych przedstawiających poszczególne kategorie stacji. Na głównej stronie sklasyfikowano i przedstawiono (w for-

mie menu rozwijalnych) elementy systemu w czterech kategoriach. Pierwszą stanowią stacje klimatyczne, do tej kategorii przypisane zostały 23 obiekty (stacje). Kolejne kategorie to 24 posterunki opadowe, cztery posterunki wodowskazowe oraz dwa posterunki opadowo-wodowskazowe. Aby sprawdzić ile na chwilę obecną (tj. 2.02.2012) stacji jest sprawnych dokonano przeglądu danych wyświetlanych, jako "Tabele pomiarów dziennych" kolejno dla każdej stacji. Na podstawie tych działań ustalono, że dla 9 stacji dane nie są wyświetlane. Nie można jednak stwierdzić jednoznacznie, iż stacje (posterunki) te nie są sprawne (nie prowadzą pomiarów). Braki danych mogą wynikać również z błędów w komunikacji pomiędzy stacją pomiarową, a centrum odbiorczym. Stacje hydrometeorologiczne zostały wykonane oraz zainstalowane przez firmę TRAX elektronik. Dane pochodzące ze stacji są archiwizowane na serwerach tejże firmy oraz na serwerze starostwa żywieckiego.

3.3 Dane pomiarowe

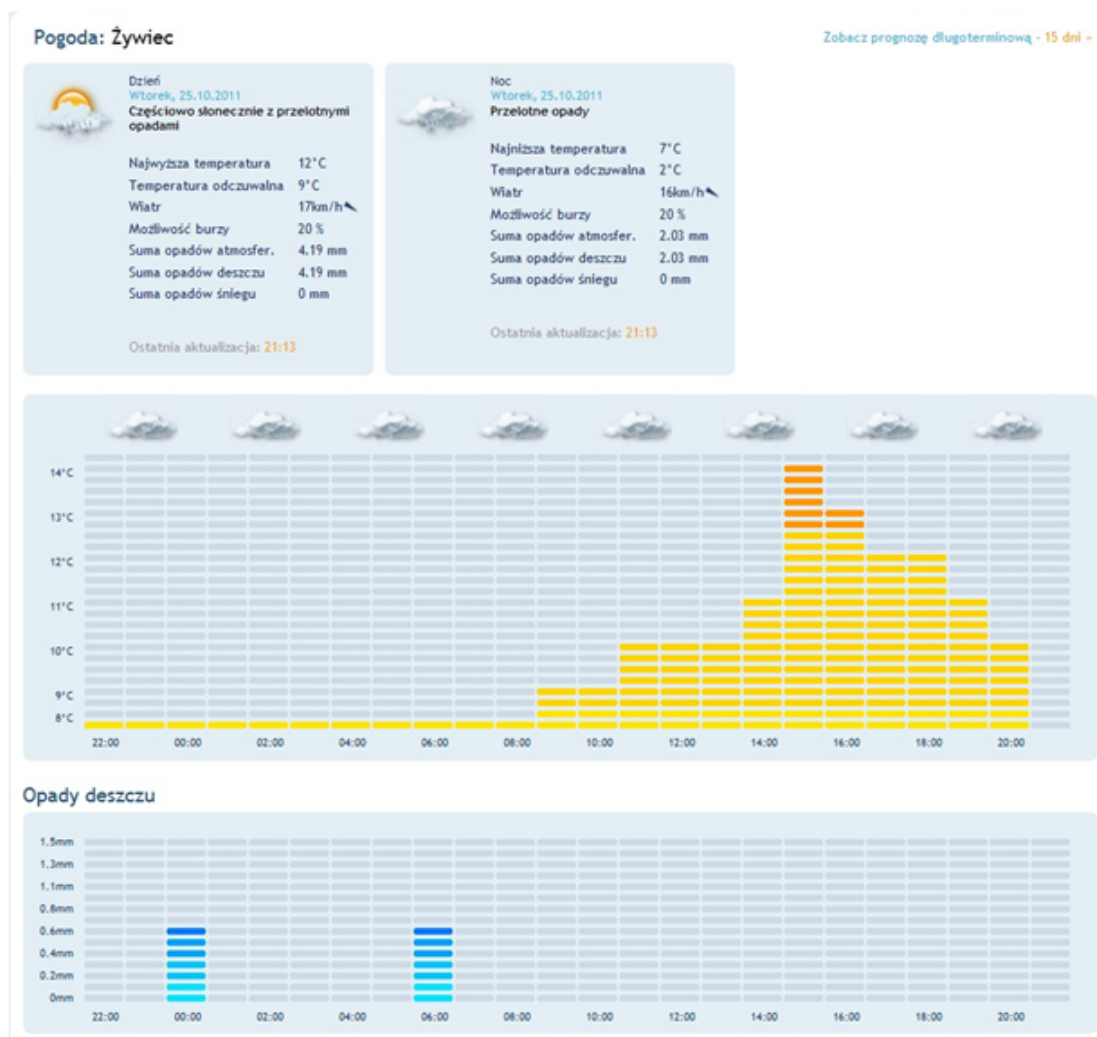
Dane pomiarowe wykorzystane w pracy pochodzą z bazy danych Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych w Żywcu. Zostały one dostarczone w czystym formacie tekstowym w wyniku eksportu odpowiednich tabel bazy dla miesięcy lipca i sierpnia 2011 roku. Przed wykorzystaniem danych do analizy należało odpowiednio rozkodować system zapisu baz danych. Dokonano tego na podstawie analizy tabeli słownikowych, są to tabele pomocnicze przechowujące wartości poszczególnych atrybutów opisujących jeden z typów obiektów (w tym przypadku stacje pomiarowe, typy pomiarów oraz numery czujników). Zawierają więc podstawowe informacje na temat tych obiektów, aby umożliwić odszukanie właściwych wartości w bazie danych. Na podstawie danych z tabeli słownikowych należało odszukać wartość przypisaną odpowiednim stacjom (Żywiec, Łodygowice, Wielka Racza, Złatna). Następnie w kolejnej tabeli odszukać wartość przypisaną rodzajowi pomiaru (w tym przypadku chwilowy opad atmosferyczny). Posiadając wcześniej odszukane wartości można było na ich podstawie odszukać w trzeciej tabeli numer czujnika, który na danej stacji dokonywał pomiaru opadu atmosferycznego. Po wstępnym rozkodowaniu danych należało odnaleźć w głównej bazie danych pomiary wykonane dla odpowiednich czujników (na określonych wcześniej stacjach pomiarowych). Następnie z odszukanych danych należało wyodrębnić pomiary dokonywane w terminach pokrywających się z terminami posiadanych danych prognozowych. Aby dokonać tej operacji poprawnie należało najpierw określić ewentualne przesunięcia czasowe pomiędzy danymi prognozowymi, a pomiarowymi. Mogą one wynikać z wykorzystania różnych czasów wzorcowych. Niestety w trakcie dekodowania stwierdzono brak danych dla 2 stacji (Wielka Racza, Złatna). Może to być spowodowane ich awarią lub problemami z przesyłem danych. Ostatecznie uzyskano dane dla dwóch stacji (Żywiec RZGW, Łodygowice) dla okresu 7 dni (pokrywające się z terminami posiadanych danych prognozowych).

3.4 Dane prognostyczne

Serwis internetowy TVN Meteo, z którego pobierane były dane prognostyczne, jest bardzo popularnym portalem internetowym publikującym prognozy pogody. Nowoczesny wygląd oraz duża ilość zróżnicowanych informacji o pogodzie, prezentowanych w przystępny sposób zachęca do korzystania z usług tego serwisu. Warto również nadmienić, iż na stronie serwisu możemy wyszukać prognozę pogody nawet dla bardzo małej miejscowości. Wszystkie te cechy wraz z możliwością personalizacji wyświetlanych prognoz (opcja zapamiętywania konkretnych lokalizacji dla których wyświetlane są prognozy) prowadzą do ciągłego wzrostu popularności serwisu. Warto więc zweryfikować dokładność tych prognoz.

Dane prognostyczne wykorzystane w niniejszej pracy pochodzą z serwisu internetowego TVN Meteo. W serwisie tym zamieszczane są dwa rodzaje prognoz meteorologicznych. Pierwsze z nich to prognozy krótkoterminowe przedstawiające przewidywanie pogody na kolejne 24 godziny poczynając od godziny, w której zostały zaktualizowane (aktualizacje odbywają się co godzinę). Drugi rodzaj prognoz zamieszczanych w tym serwisie to prognozy długoterminowe obejmujące przewidywanie pogody dla kolejnych 15 dni. Są one mniej precyzyjne, prognozy są uśredniane dla 24 godzin. W pracy wykorzystane zostały dane pochodzące z prognoz krótkoterminowych. Wszelkie formy kontaktu (drogą mailową, telefoniczną, przez portal społecznościowy) z serwisem TVN Meteo okazały się nieudane. Nie udało się uzyskać gotowych danych (w formacie liczbowym) bezpośrednio od serwisu TVN Meteo. Dane prognostyczne były więc pobierane ręcznie na podstawie informacji zamieszczanych na stronie internetowej. Są one zamieszczane w postaci wykresów kolumnowych, w których wysokość każdej kolumny odpowiada wysokości opadu atmosferycznego w mm, który jest prognozowany dla danego miejsca w danej godzinie. Każda kolumna odpowiada prognozie opadu dla jednej godziny. Dokładna wartość liczbową jest wyświetlana na powierzchni danej kolumny po jej zaznaczeniu kursorem myszy (rys. 2).

Długotrwały brak opadu atmosferycznego w okresie pomiędzy połową sierpnia, a początkiem października 2011 roku oraz późniejsze sporadyczne epizody opadowe utrudniły proces pobierania danych. Ostatecznie pobrano dane prognostyczne dla 14 dni. Pierwsza część danych: 3, 20, 23, 25, 27, 31 lipca 2011 oraz 1 sierpnia 2011. Te dane zostały wykorzystane w dalszej części pracy. Druga część danych: 8, 20 października 2011 oraz 4, 7, 9, 10 oraz 15 grudnia 2011. Z powodu braku danych (dla tego okresu) pochodzących z lokalnego systemu monitoringu w Żywcu, nie poddano tych prognoz analizie. Dane prognostyczne były pobierane początkowo dla 6 miejscowości znajdujących się na terenie powiatu żywieckiego (Żywiec, Jeleśnia, Gilowice, Łodygowice, Wielka Racza, Złatna). Wybór miejscowości opierał się o dwa główne kryteria. Pierwszym kryterium była lokalizacja stacji pomiarowej w danej miejscowości. Pozwalało to na bezpośrednią weryfikację prognozy dla danego miejsca. Drugim kryterium był wybór możliwie najbardziej oddalonych od siebie miejscowości, aby pobierać dane prognostyczne obliczone dla więcej niż jednego oczka siatki. Po analizie pierwszych



Rysunek 2: Sposób wyświetlania prognoz krótkoterminowych wysokości opadu atmosferycznego oraz temperatury na stronie TVN Meteo (źródło: strona TVN Meteo)

danych polegającej na odrzuceniu miejscowości dla których prognozy były takie same, wybrano 4 miejscowości (Żywiec, Łodygowice, Wielka Racza, Złatna), dla których pobierano dalsze dane prognostyczne.

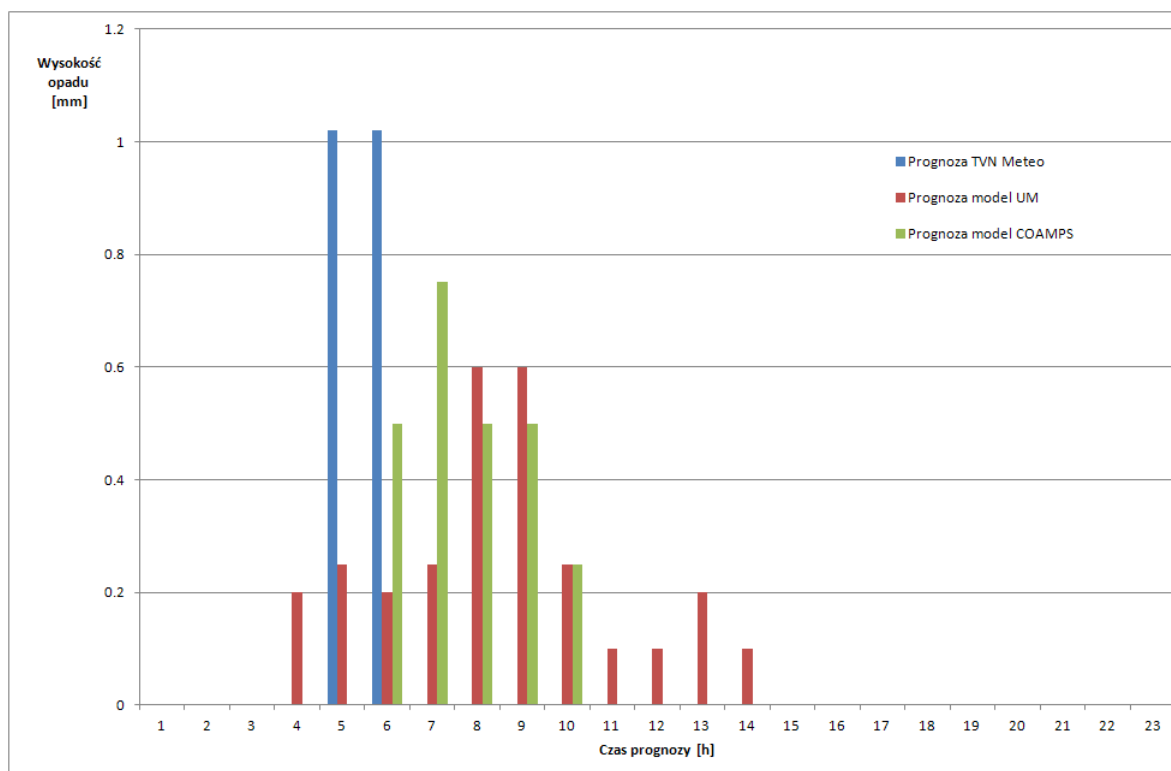
3.5 Weryfikacja źródła danych i metodyki powstawania prognoz serwisu TVN Meteo

Problem braku współpracy z TVN Meteo przełożył się bezpośrednio również na brak informacji na temat źródeł danych oraz metod jakie zostały wykorzystane do ich obróbki. Tego typu informacje są bardzo istotne przy weryfikacji dokładności prognoz. Podjęto więc próbę uzyskania brakujących danych z innych źródeł. Niestety nie udało się nawiązać kontaktu z innymi instytucjami m.in. z ICM (które uczestniczy bezpośrednio w dwóch projektach, z których dane mógłby pobierać TVN).

Należało więc uzyskać te informacje w sposób pośredni. W trakcie tej weryfikacji należało określić i przyjąć wstępne założenia, którymi kierowano się w dalszym przebiegu prac. Podstawowym założeniem było pochodzenie danych bezpośrednio z modelu numerycznego. Odrzucono więc na tym etapie możliwość tworzenia prognoz w oparciu jedynie o metody tradycyjne (bez wykorzystywania modeli numerycznych). Podyktowane było to ograniczeniami czasowymi wynikającymi z krótkoterminowości prognoz. Drugim założeniem było wykorzystywanie przez TVN Meteo danych pochodzących z zewnątrz. Wynika to z przyczyn technicznych oraz ekonomicznych. Nawet przy pozyskiwaniu tylko danych wejściowych do obliczeń modelowych, utworzenie i wprowadzenie profesjonalnego systemu - składającego się zarówno z odpowiedniego sprzętu (w tym superkomputera) jak i sztabu wykwalifikowanych pracowników - wymaga ogromnych nakładów finansowych (koszt samego superkomputera może wynieść kilka milionów złotych). Jest więc mało prawdopodobne, aby taki system został wdrożony na potrzeby tworzenia prognoz pogody dla serwisu internetowego oraz telewizji. Pierwszy etap weryfikacji polegał na wybraniu kilku numerycznych modeli prognozy pogody obejmujących swym zasięgiem teren Polski o odpowiedniej rozdzielczości siatki (modele mezoskalowe). Wybrane zostały modele COSMO, ALADIN, UM oraz COAMPS. Dane dla dwóch modeli (tj. COSMO, ALADIN) nie są dostępne nieodpłatnie na terenie Polski. Prawa do wykorzystywania tych modeli posiada IMGW. Natomiast dane wyjściowe z modeli UM oraz COAMPS są zamieszczane przez Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego na stronie internetowej w formie meteogramów. Weryfikacji poddano więc dane pochodzące z dwóch numerycznych modeli (UM oraz COAMPS). Polegała ona na pobraniu meteogramów wygenerowanych dla 5 miejscowości w przypadku modelu UM oraz 4 miejscowości w przypadku modelu COAMPS. Równocześnie pobrano dane prognostyczne z serwisu TVN Meteo dla 5 miejscowości. Następnie porównano dane pochodzące z obydwu modeli z prognozami TVN Meteo.

Na rysunku 3 przedstawiono porównanie krótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego dla miasta Krakowa. Można zauważyć znaczne różnice pomiędzy prognozami pochodzącymi z obydwu analizowanych modeli, a prognozą TVN Meteo. Podobnie przedstawia się porównanie prognoz dla trzech kolejnych miejscowości. Dane wyjściowe z modeli UM oraz COAMPS są do siebie zbliżone, różnią się rozkładem godzinowym, który jest znacznie szerszy w przypadku prognoz z pierwszego modelu. Można więc przypuszczać, że prognozy zamieszczane w analizowanym serwisie internetowym nie powstały w wyniku obliczeń przeprowadzanych na modelach UM oraz COAMPS.

Drugi etap polegał na ustaleniu rozdzielczości (wymiarów oczka) siatki modelu. W tym celu należało wybrać szereg miejscowości znajdujących się w pobliżu linii prostej wyznaczającej kierunek wschód-zachód. W pierwszej próbie odległość (mierzona na wyżej opisanych liniach) pomiędzy najdalej oddalonymi od siebie miejscowościami (Szczecin — Sowno) w szeregu wynosiła około 20 km (pomiar dokonany na portalu <http://maps.geoportal.gov.pl>). Dla wybranych wcześniej miejscowości pobrano również prognozę pogody rozpoczynającą się od tej samej godziny. Na podstawie ana-



Rysunek 3: Zestawienie krótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego dla Krakowa dla dnia 19.01.2012

lizi zmian wartości prognozowanej temperatury oraz opadu wyznaczono miejscowość (Kniewo), w której wartości prognozowane zmieniają się względem poprzednich analizowanych wartości (analizę prowadzono dla kolejnych miejscowości poczynając od położonej najdalej na zachód). Przyjęto, że pomiędzy wybraną miejscowością, a poprzednią poddaną analizie przebiega linia wyznaczająca granicę siatki modelu. Dokonano ponownego wyboru szeregu miejscowości rozpoczynając od założonego miejsca przebiegu granicy siatki kierując się tym razem w przeciwnym kierunku. Drugą próbę wykonywano tą samą metodą opisaną powyżej. W wyniku analizy danych uzyskano prawdopodobne miejsce przebiegu drugiej granicy siatki (okolice Szczecina). Na podstawie tej analizy oszacowano, iż rozdzielczość siatki modelu wynosi około 7 km. Można więc przypuszczać, że jest to model mezoskalowy.

Kolejny etap analizy dotyczył sklasyfikowania analizowanej prognozy według kryterium terminowości ustalonego przez World Meteorological Organisation. Klasyfikację tę zamieszczono w drugim rozdziale pracy. Analiza miała na celu weryfikację rzeczywistych aktualizacji prognoz zamieszczanych w serwisie. Polegała ona na odszukaniu częstotliwości zamieszczania nowych prognoz. Na podstawie tej wartości można dokonać prawidłowej klasyfikacji prognozy. Weryfikacja polegała na pobieraniu danych prognozowych (dla 3 miejscowości: Żywiec, Wielka Racza, Złatna) co dwie godziny przez okres co najmniej 12 godzin. Ostatecznie pobieranie danych rozpoczęto o godzinie 6:00 i zakończono o godzinie 22:00. Porównując zebrane dane zauważono wystąpienie oczekiwa-

nych różnic prognozowanej wysokości oraz czasu wystąpienia opadu atmosferycznego. Występują one dwukrotnie w odstępie 12 godzin. Określono więc częstotliwość rzeczywistej aktualizacji prognoz w serwisie. Aktualizacja prognoz co 12 godzin klasyfikuje (wg. przyjętej klasyfikacji WMO) prognozy TVN Meteo jako ultrakrótkoterminowe.

3.6 Metody weryfikacji ultrakrótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego

Pierwszą metodą weryfikacji dokładności ultrakrótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego użytą w trakcie analizy było porównanie prognozowanej dobowej sumy opadu z sumą wysokości opadu pochodzącą z pomiarów. Po wcześniejszym zsumowaniu wartości dla całego dnia obliczono różnice bezwzględne występujące pomiędzy danymi prognozowymi, a danymi obserwacyjnymi 3.1. Ten parametr stanowi wartość bezwzględną (nieuwzględniającą znaku liczby) różnicy pomiędzy danymi. Pozwala to uzyskać informację jak duży błąd został popełniony przy przewidywaniu wysokości dobowego opadu.

$$x = |p_z - p_p| \quad (3.1)$$

gdzie:

x – różnica bezwzględna pomiędzy sumą zaobserwowanego, a sumą prognozowanego opadu atmosferycznego

p_z – suma opadu atmosferycznego zaobserwowanego

p_p – suma opadu atmosferycznego prognozowanego

Drugą zastosowaną metodą jest wykorzystanie uproszczonej na potrzeby pracy tablicy wielorozdzielczej (2x2) zawierającej dwie kategorie (tab. 1), (14). Pierwszą jest wystąpienie opadu, a drugą brak jego wystąpienia. Dzięki wykorzystaniu tej tabeli można scharakteryzować tylko trafność przewidywania wystąpienia opadu atmosferycznego (14). Można więc scharakteryzować trafność godzinowych prognoz wystąpienia opadu atmosferycznego. Wprowadzenie uproszczenia było spowodowane dostosowaniem metody do liczby posiadanych danych.

W weryfikacji prognoz ultrakrótkoterminowych ważne są również nieznaczne przesunięcia czasowe. Polegają one na wystąpieniu zjawiska godzinę przed lub godzinę po przewidywanym czasie jego wystąpienia. Opracowano więc na potrzeby pracy dodatkowy parametr bazujący na tabeli wielorozdzielczej. Ma on stwierdzać ile razy w trakcie dobowej prognozy wystąpiło przesunięcie czasowe wystąpienia godzinowego opadu względem faktycznego czasu jego wystąpienia. Warunkiem zakwalifikowania zjawiska, jako zdarzenie e (zdarzenie przesunięte) było zaobserwowane jego wystąpienie godzinę przed lub godzinę po prognozowanym czasie jego wystąpienia oraz brak wcześniejszego sklasyfikowania, jako zdarzenie a (zdarzenie było prognozowane i wystąpiło). Dzięki

Tabela 1: Tabela wielorozdzielcza 2x2: $a+e^*$ — liczba trafień + trafienia przesunięte (zdarzenie było prognozowane i wystąpiło + zdarzenie było prognozowane i wystąpiło z przesunięciem godzinym), b — liczba fałszywych alarmów (zdarzenie było prognozowane, ale nie wystąpiło), c — liczba chybień (wystąpiło zdarzenie, które nie było prognozowane), d — liczba poprawnie zaprognozowanych braków zdarzeń (zdarzenie nie wystąpiło i nie było prognozowane), e^* jeżeli wystąpiło

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	$a+e^*$	b
	NIE	c	d

temu parametrowi można zredukować ewentualną liczbę chybień lub fałszywych alarmów, co wpływa na ocenę dokładności prognozowania wystąpienia zjawiska.

Rozdział 4

Analiza

4.1 Analiza danych pomiarowych

Dane pomiarowe pochodzące z Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych działającego na terenie powiatu żywieckiego przed wykorzystaniem ich w procesie weryfikacji wymagały wstępnej analizy. Należało bowiem zweryfikować możliwe przesunięcia czasowe względem danych prognozowych. Mogły one wynikać z różnic przyjętego czasu wzorcowego.

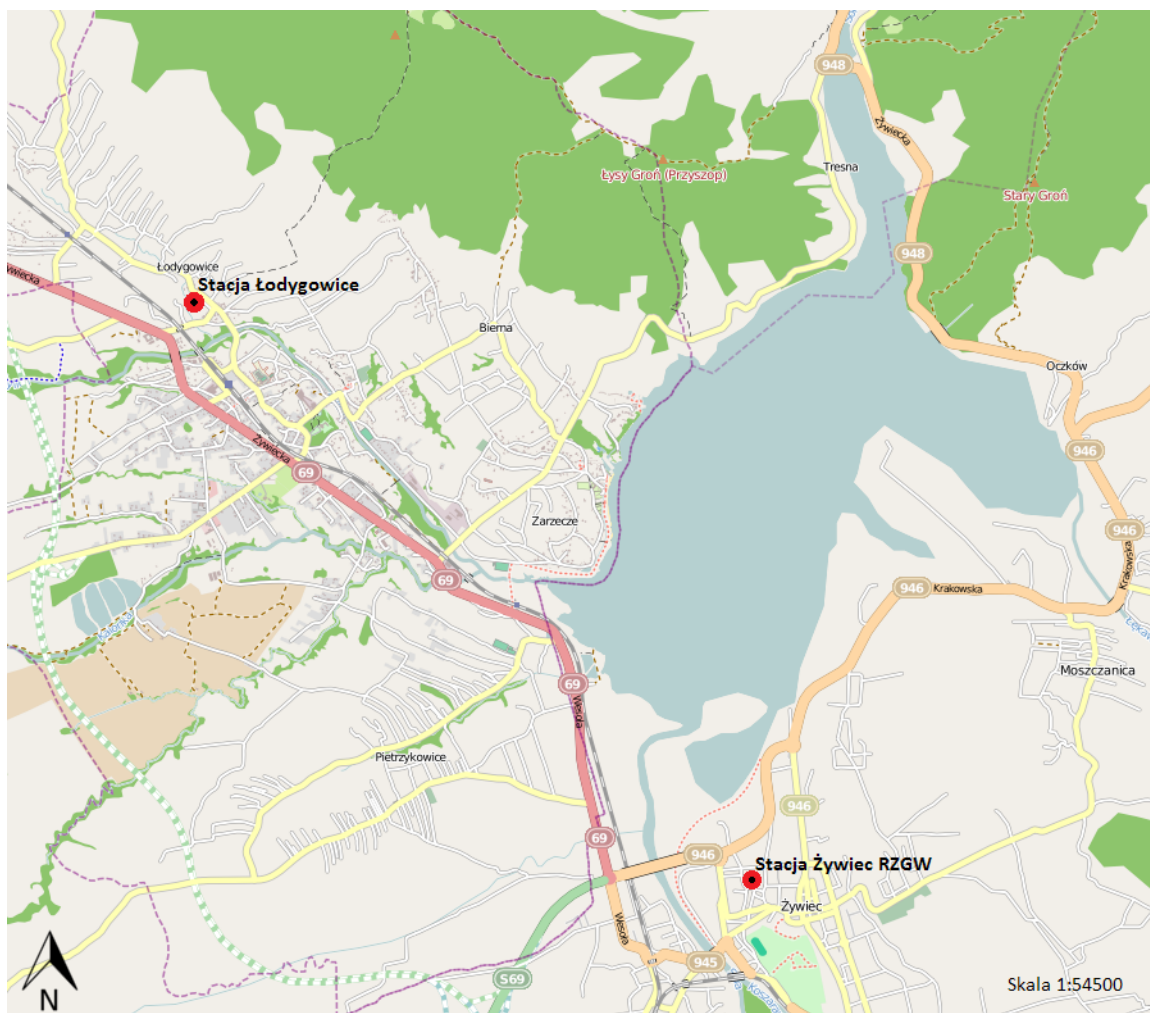


Rysunek 4: Błędne wyświetlanie wartości opadu chwilowego dla stacji Żywiec RZGW w dniu 20.07.2011 (źródło: <http://www.traxelektronik.pl/pogoda/zywiec/>)

W tym celu porównano dane dla wybranych okresów czasowych z danymi zamieszczanymi na stronie internetowej systemu ostrzegania przed powodzią. Było to utrudnione ze względu na niepoprawne wyświetlanie na stronie internetowej wartości opadu chwilowego dla analizowanych stacji pomiarowych. Błąd ten polega na ciągłym po-

dawaniu wysokości opadu chwilowego, jako zero, podczas gdy suma opadu dziennego wzrasta wraz z upływem czasu (rys. 4).

Jednak na podstawie różnic pomiędzy podanymi całodniowymi sumami opadu ustalono, iż godziny pomiarów zapisywane w bazach danych podawane są dla Uniwersalnego Czasu Koordynowanego (UTC). Jest to wzorcowy czas uwzględniający obrotowy ruch Ziemi, koordynowany względem czasu słonecznego. Dane prognostyczne pobierane były dla czasu lokalnego CEST (letni czas środkoeuropejski), który różni się o 2 godziny względem czasu UTC (UTC+2). Wyodrębniono więc dane z uwzględnieniem przesunięcia czasowego. Jednak tak przygotowane dane przedstawiały wysokość chwilowego opadu atmosferycznego dla ostatnich 10 minut, natomiast dane prognostyczne przedstawiały tę wielkość dla godziny (60 minut). Należało więc zsumować wartości, aby uzyskać dane pomiarowe dla 60 minut.



Rysunek 5: Położenie stacji hydrometeorologicznych Żywiec RZGW oraz Łodygowice (źródło: <http://www.openstreetmap.org/>)

Stacje hydrometeorologiczne Żywiec RZGW oraz Łodygowice wchodzą w skład Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych. Są one oddalone od siebie

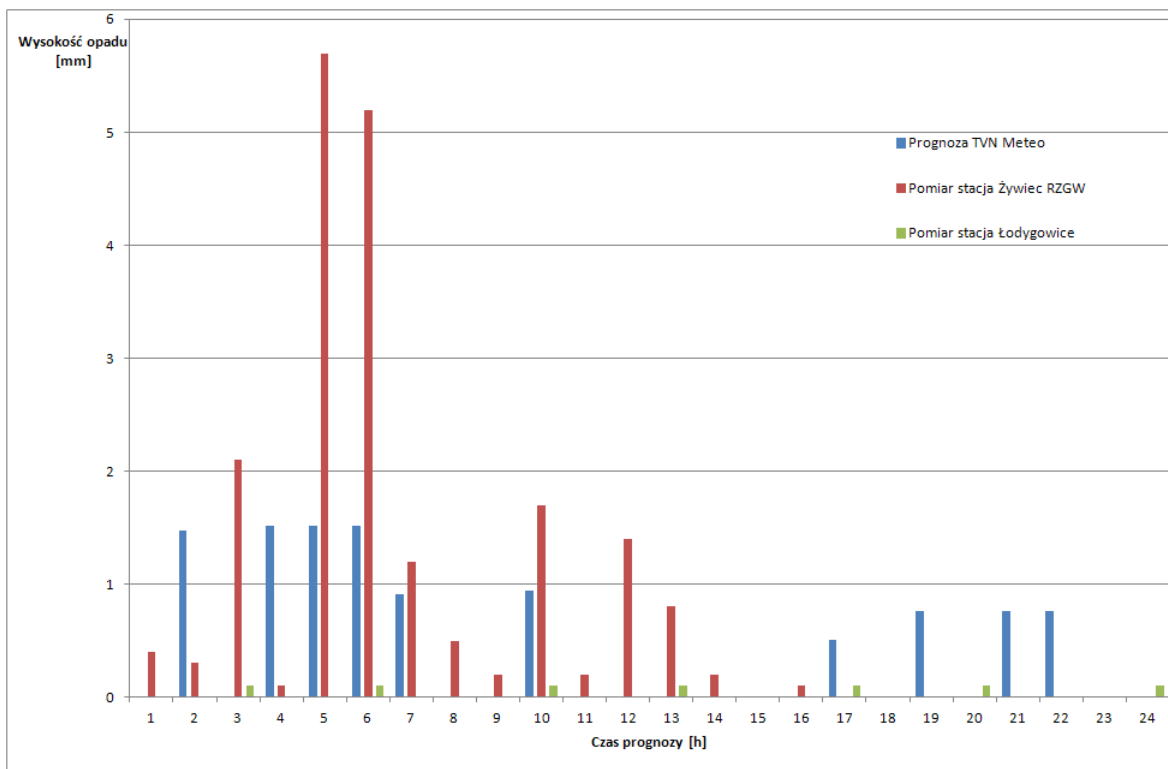
o około 6.25 km w linii prostej. Ich położenie zobrazowano na rysunku 5.

Stacja Żywiec RZGW znajduje się w centrum miejscowości Żywiec. Rzędna terenu dla tej stacji wynosi około 345 m n.p.m. Jest oddalona o około 600 metrów od rzeki Soły oraz o około 560 metrów od Zbiornika Żywieckiego.

Stacja Łodygowice znajduje się w miejscowości Łodygowice położonej na północny-zachód od miejscowości Żywiec. Rzędna terenu dla tej stacji wynosi około 375 m n.p.m. Jest oddalona o około 50 metrów od ciekę Bartoszowiec oraz o około 3.6 kilometra od Zbiornika Żywieckiego.

4.2 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 3.07.2011

Na rysunku 6 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 3.07.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice. Prognoza wysokości opadu dla obydwu wcześniej wymienionych stacji była taka sama.



Rysunek 6: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 3.07.2011

Suma dobowego opadu w przypadku stacji Żywiec RZGW wynosi 20.1 [mm] natomiast dla stacji Łodygowice zaledwie 0.7 [mm]. Natomiast dane prognozowe dla obydwu stacji są takie same, suma prognozowanego opadu wynosi 10.67 [mm]. Należy zaznaczyć, iż prognoza wystąpienia opadu była bardziej trafna w pierwszych analizowanych godzinach.

Różnica bezwzględna dobowej sumy opadu dla Żywca wynosi 9.43 [mm] , a dla Łodygowic 9.97 [mm].

Tabela 2: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 3.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	6+1	3
	NIE	9	5

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 2 stwierdzono 12 zdarzeń trafionych (w tym 1 zdarzenie przesunięte). Natomiast zdarzenia nietrafione miały miejsce również 12-krotnie. Ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu dla miejscowości Żywiec była więc w tym dniu poprawna w 50%.

Tabela 3: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 3.07.2011)

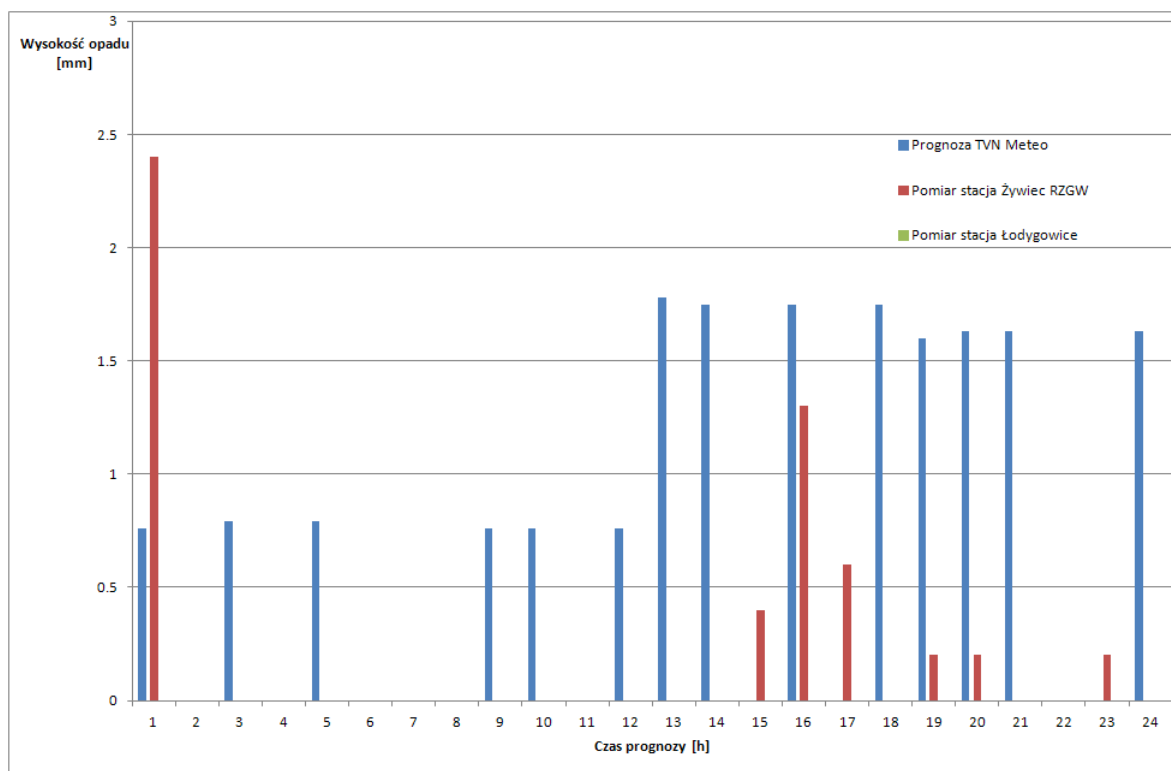
Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	3+2	5
	NIE	4	10

Analizując dane zamieszczone w tabeli 3 stwierdzono 15 zdarzeń trafionych (w tym 2 zdarzenia przesunięte). Odnotowano również 9 zdarzeń błędnie prognozowanych. Ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu dla miejscowości Łodygowice była więc w tym dniu prawidłowa w 62.50%.

4.3 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 20.07.2011

Na zamieszczonym rysunku 7 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 20.07.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice.

Na stacji Żywiec RZGW suma dziennego opadu w tym dniu wyniosła 5.3 [mm] natomiast na stacji Łodygowice nie odnotowano opadu w przeciągu analizowanych 24 godzin. Prognoza ultrakrótkoterminowa dla obydwu punktów była taka sama, a suma prognozowanego opadu dobowego wynosiła 18.14 [mm]. Warto podkreślić, iż prognozowany okres wystąpienia opadu pokrywał się z rzeczywistym wystąpieniem tego zjawiska na stacji w Żywcu jedynie dla 4 godzin.



Rysunek 7: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 20.07.2011

Różnice bezwzględne pomiędzy prognozowaną sumą opadu atmosferycznego a poszczególnymi sumami 24 godzinowego opadu na analizowanych stacjach wskazują, iż mniejszy błąd w prognozowaniu wysokości opadu został popełniony dla miejscowości Żywiec i wyniósł on 12.84 [mm]. Natomiast dla miejscowości Łodygowice różnica ta wynosi 18.14 [mm].

Tabela 4: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 20.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	4+1	9
	NIE	3	7

Analizując dane z zamieszczonej tabeli 4 stwierdzono 12 poprawnie prognozowanych zdarzeń. Zdarzeń nietrafionych było w tym dniu 12. Oznacza to, że ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego w miejscowości Żywiec w dniu 20.07.2011 była prawidłowa w 50%.

Dokonując analizy danych zawartych w tabeli 5 zauważono przewagę błędnych prognoz wystąpienia opadu atmosferycznego, prognoza była błędna dla 14 godzin. Natomiast dla 10 pozostałych godzin prawidłowo prognozowano brak wystąpienia opadu

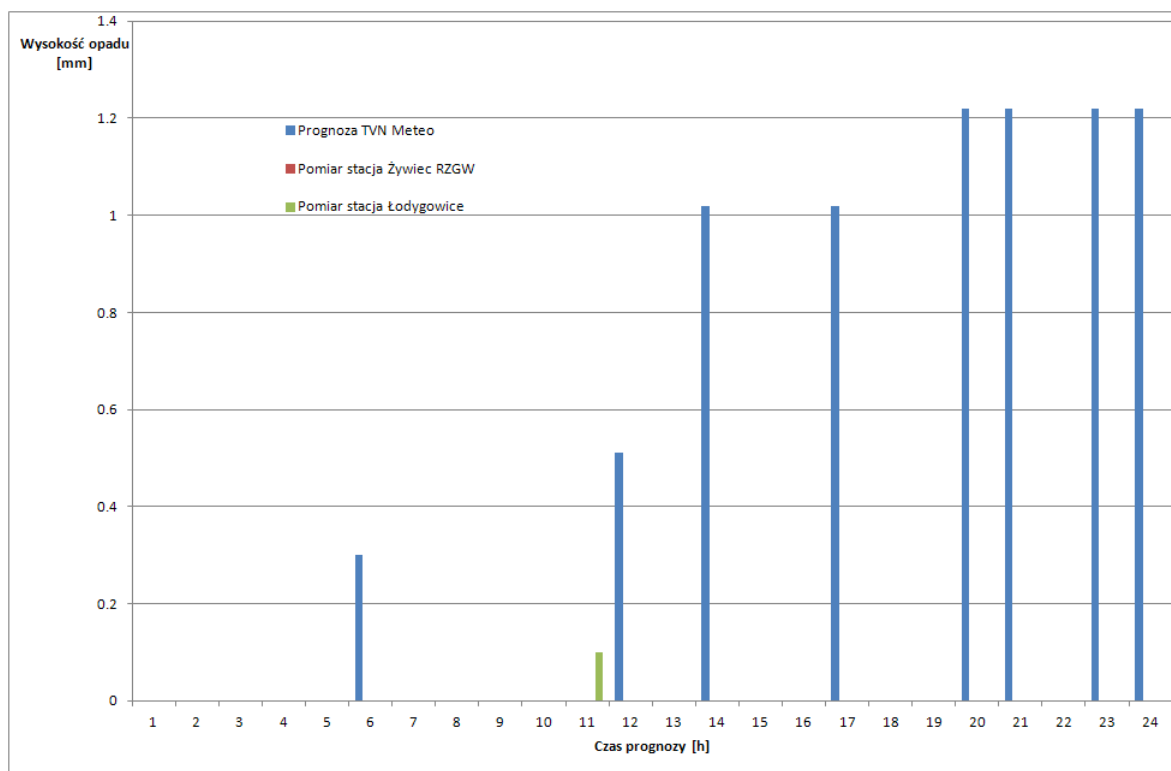
Tabela 5: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 20.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	0+0	14
	NIE	0	10

atmosferycznego. Nie wystąpiły w tym wypadu zdarzenia kwalifikujące się jako przesunięte. Można więc stwierdzić, że ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia zjawiska opadu atmosferycznego dla miejscowości Łodygowice w dniu 20.07.2011 była nieprawidłowa w 58.33%.

4.4 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 23.07.2011

Na zamieszczonym rysunku 8 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 23.07.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice.



Rysunek 8: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 23.07.2011

Na rysunku 8 można zauważyć, że wyniki pomiarów na obydwu stacjach są do siebie zbliżone. Poza pojedynczym epizodem opadowym zanotowanym na stacji Łodygowi-

ce w 11 godzinie analizowanych pomiarów (opad dla tej godziny wyniósł 0.1 [mm]) nie zaobserwowano opadu atmosferycznego na żadnej ze stacji. Natomiast jak można zauważyć na wykresie, prognoza TVN Meteo przewidywała wystąpienie większych opadów atmosferycznych – szczególnie w drugiej części prognozy. Suma prognozowanego opadu dla tej doby wyniosła 7.73 [mm] i była taka sama dla obydwu analizowanych miejscowości.

Różnica bezwzględna przypadku danych ze stacji Żywiec RZGW wyniosła 7.73 [mm], a dla stacji Łodygowice nieznacznie mniej 7.63 [mm]. Prognoza była więc niemal całkowicie błędna.

Tabela 6: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 23.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	0+0	8
	NIE	0	16

Dokonując analizy danych zawartych w tabeli 6 zauważono znaczną przewagę trafnie prognozowanego braku wystąpienia zjawiska w przypadku 16 godzin w ciągu analizowanej doby prognozy. Natomiast w przypadkach wystąpienie opadu atmosferycznego było błędnie prognozowane. Żadne zdarzenie nie zostało sklasyfikowane jako zdarzenie przesunięte (e). Można więc stwierdzić, iż trafność ultrakrótkoterminowej prognozy wystąpienia (lub niewystąpienia) opadu atmosferycznego dla miejscowości Żywiec w dniu 23.07.2011 wyniosła 66.67%. Należy jednak wziąć pod uwagę znaczący błąd w prognozowaniu wystąpienia opadu, ponieważ w tym dniu nie zarejestrowano wystąpienia opadu atmosferycznego na stacji pomiarowej.

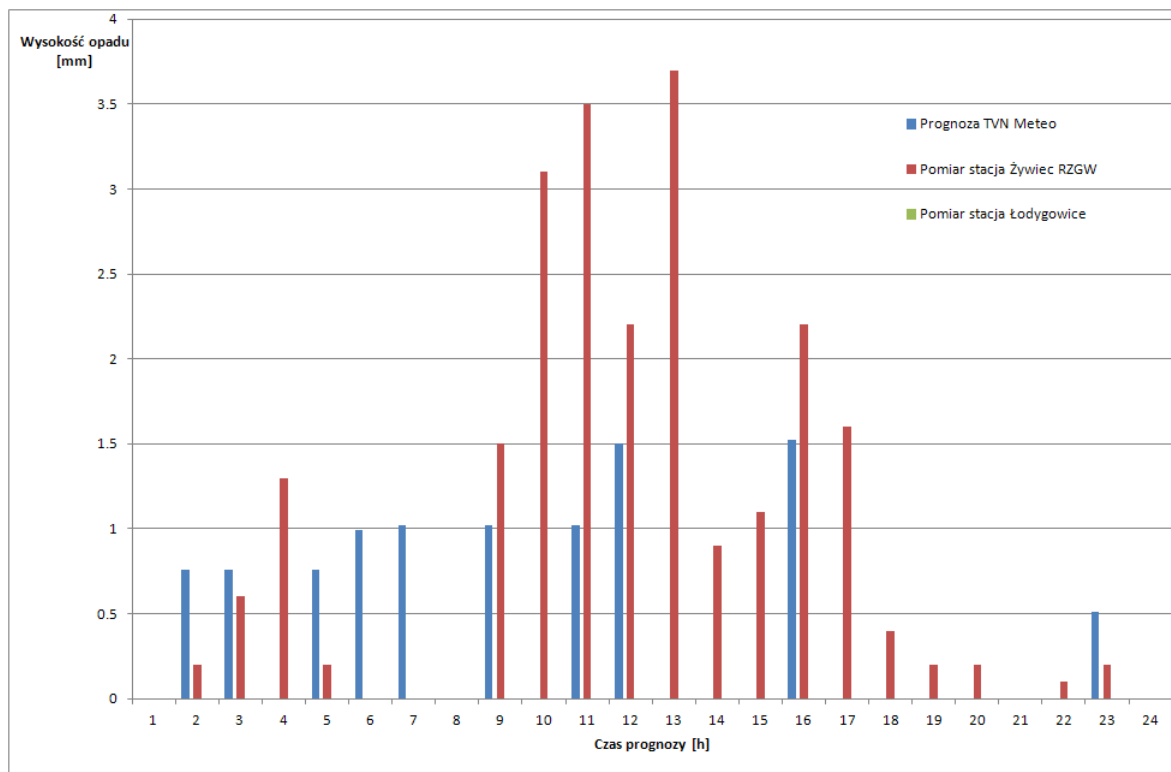
Tabela 7: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 23.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	0+1	7
	NIE	0	16

Analizując dane z tabeli 7 można zauważyć przewagę zdarzeń trafionych, które miały miejsce 17-krotnie (w tym 1 zdarzenie przesunięte). Błędna prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego wystąpiła 7-krotnie w ciągu analizowanej doby. Reasumując, ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Łodygowice w analizowanym dniu była poprawna w 70.83%.

4.5 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 25.07.2011

Na zamieszczonym rysunku 9 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 25.07.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice.



Rysunek 9: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 25.07.2011

Analizując rysunek 9 można zauważyć duże rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów wysokości opadu atmosferycznego na dwóch analizowanych stacjach. Suma wysokości opadu atmosferycznego pomierzona na stacji Żywiec RZGW wyniosła 23.2 [mm]. Natomiast na stacji Łodygowice nie odnotowano opadu atmosferycznego. Ultrakrótkoterminowa prognoza opadu atmosferycznego dla obydwu analizowanych miejscowości była taka sama, a suma wysokości opadu w ciągu doby wyniosła 9.86 [mm].

Bezwzględne różnice pomiędzy sumą prognozowanego opadu dobowego, a sumą pomierzoną na poszczególnych stacjach wskazują, iż większy błąd popełniono w przypadku miejscowości Żywiec. Różnica ta wyniosła 13.34 [mm], a dla miejscowości Łodygowice różnica bezwzględna wyniosła 9.86 [mm].

W trakcie analizy danych z tabeli 8 stwierdzono, iż prognoza wystąpienia (lub niewystąpienia) opadu atmosferycznego była prawidłowa dla 12 godzin. Dla pozostałych 12 godzin prognoza była błędna. Rozpatrując zdarzenia nietrafione (błędne prognozy) należy zauważyć, że 10 spośród 12 takich zostało sklasyfikowanych jako zdarzenie c (nie

Tabela 8: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 25.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	8+0	2
	NIE	10	4

prognozowane, zaobserwowane). Ten rodzaj błędu znacznie obniża użyteczność prognozy dla modelowania zagrożeń powodziowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy można wnioskować, iż ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Żywiec w analizowanym dniu była poprawna w 50%.

Tabela 9: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 25.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	0+0	10
	NIE	0	14

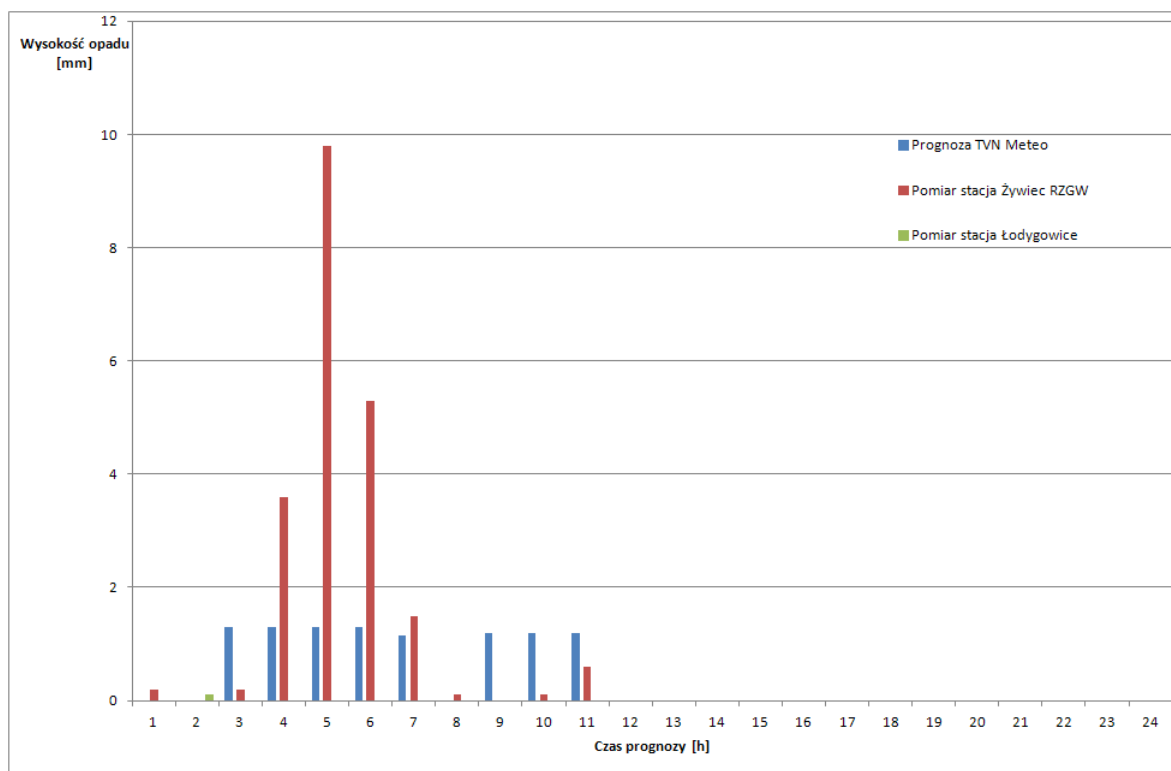
Analizując dane z tabeli 9 zauważono przewagę poprawnie prognozowanych braków wystąpienia opadu atmosferycznego. Miały one miejsce 14 razy. Natomiast zdarzenia nietrafione wystąpiły 10 razy w ciągu analizowanej doby. Można więc stwierdzić, iż ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Łodygowice była poprawna w 58.33%.

4.6 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 27.07.2011

Na zamieszczonym rysunku 10 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 27.07.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice.

Na rysunku 10 można zauważyć znaczne dysproporcje pomiędzy pomierzonymi wysokościami opadu atmosferycznego na analizowanych stacjach. Suma dobowego opadu zaobserwowanego na stacji Żywiec RZGW wyniosła 21.4 [mm], podczas gdy ten sam parametr na stacji Łodygowice osiągnął wartość zaledwie 0.1 [mm]. Prognozowana suma wysokości opadu atmosferycznego dla obydwu miejscowości była taka sama i wynosiła 9.91 [mm]. W trakcie analizy wykresu zauważono również, że prognozowany okres wystąpienia opadu atmosferycznego pokrywa się w dużej mierze z okresem w którym zjawisko to było obserwowane na stacji Żywiec RZGW.

Różnica bezwzględna dla danych ze stacji Żywiec RZGW osiągnęła wartość 11.49 [mm]. Natomiast w przypadku stacji Łodygowice różnica bezwzględna wyniosła 9.81 [mm].



Rysunek 10: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 27.07.2011

Tabela 10: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 27.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	7+0	1
	NIE	2	14

Analizując dane zamieszczone tabeli 10 zauważono znaczną przewagę zdarzeń trafionych (a+d). Wśród tych zdarzeń 7 należy do kategorii a (zdarzenie wystąpiło i było prognozowane), a 14 do kategorii d (zdarzenie nie wystąpiło i nie było prognozowane). Jedyne dla trzech godzin prognoza była błędna. Można więc stwierdzić, iż w dniu 27.07.2011 ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Żywiec była poprawna w 87.50%.

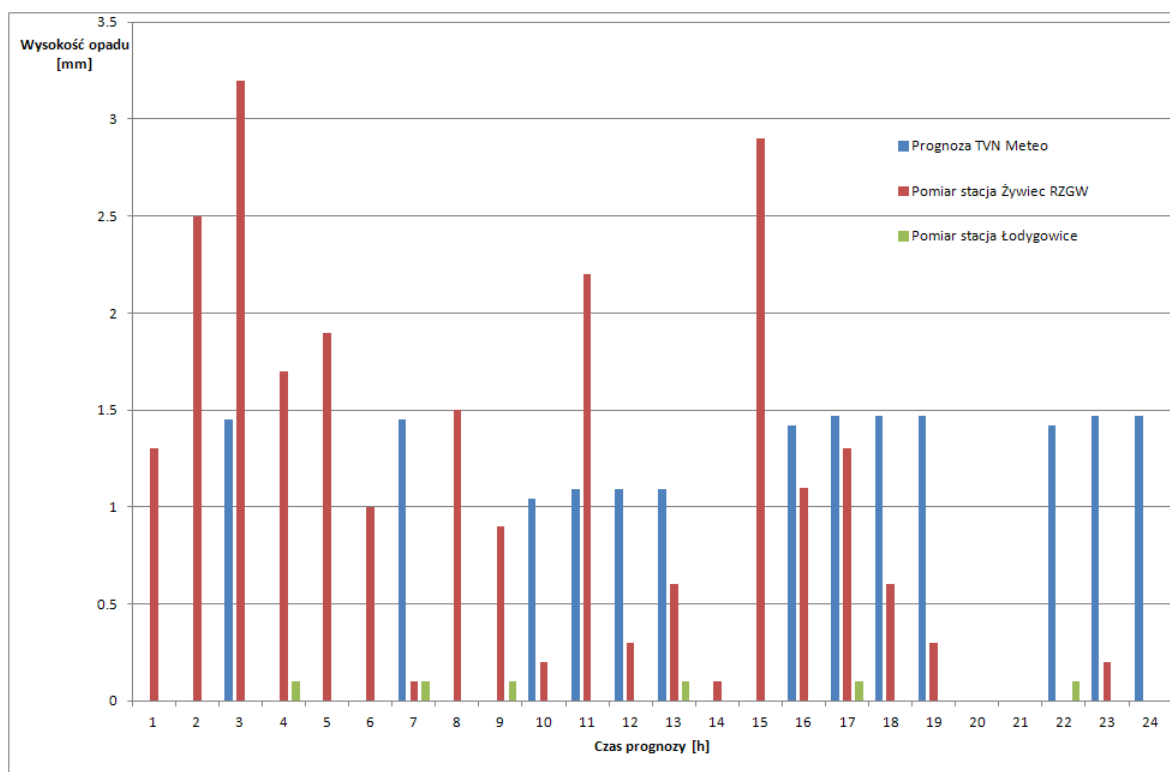
Dokonując analizy danych zamieszczonych w tabeli 11 zauważono przewagę poprawnie prognozowanych braków wystąpienia zjawiska, które miały miejsce 15-krotnie. Natomiast zdarzeń nietrafionych w tym dniu było 9. Podsumowując, ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Łodygowice w dniu 27.07.2011 była poprawna w 62.50%.

Tabela 11: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 27.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	0+0	8
	NIE	1	15

4.7 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 31.07.2011

Na zamieszczonym rysunku 11 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 31.07.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice.



Rysunek 11: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 31.07.2011

Na podstawie analizy danych przedstawionych na rysunku 11 można zauważyć, że opad atmosferyczny w miejscowości Żywiec był obserwowany nieprzerwanie przez pierwszych 19 analizowanych godzin. Natomiast na stacji pomiarowej w Łodygowicach odnotowano jedynie pojedyncze epizody opadowe. Dobowa suma opadu zarejestrowana na stacji Żywiec RZGW wyniosła 23.9 [mm], natomiast na stacji Łodygowice osiągnęła wartość 0.6 [mm]. Prognozowana suma wysokości opadu atmosferycznego w tym dniu wyniosła 17.4 [mm] i była taka sama dla obydwu analizowanych stacji.

W przypadku danych ze stacji Żywiec RZGW różnica bezwzględna wyniosła 6.5 [mm]. Natomiast dla danych ze stacji w Łodygowicach parametr ten osiągnął wartość 16.8 [mm].

Tabela 12: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 31.07.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	11+1	1
	NIE	9	2

Analizując dane zamieszczone w tabeli 12 zauważono nieznaczną przewagę zdarzeń trafionych, które wystąpiły 14-krotnie. W tym 11 razy zdarzenie a (zjawisko prognozowane i zaobserwowane) oraz 1 zdarzenie przesunięte. Błędnych prognoz wystąpienia opadu atmosferycznego było w sumie 10. Aż 9 z nich było zdarzeniami c (zjawisko nie prognozowane, zaobserwowane). Na podstawie przeprowadzonej analizy można więc stwierdzić, iż w dniu 31.07.2011 ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Żywiec była poprawna w około 54.17%

Tabela 13: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 31.07.2011)

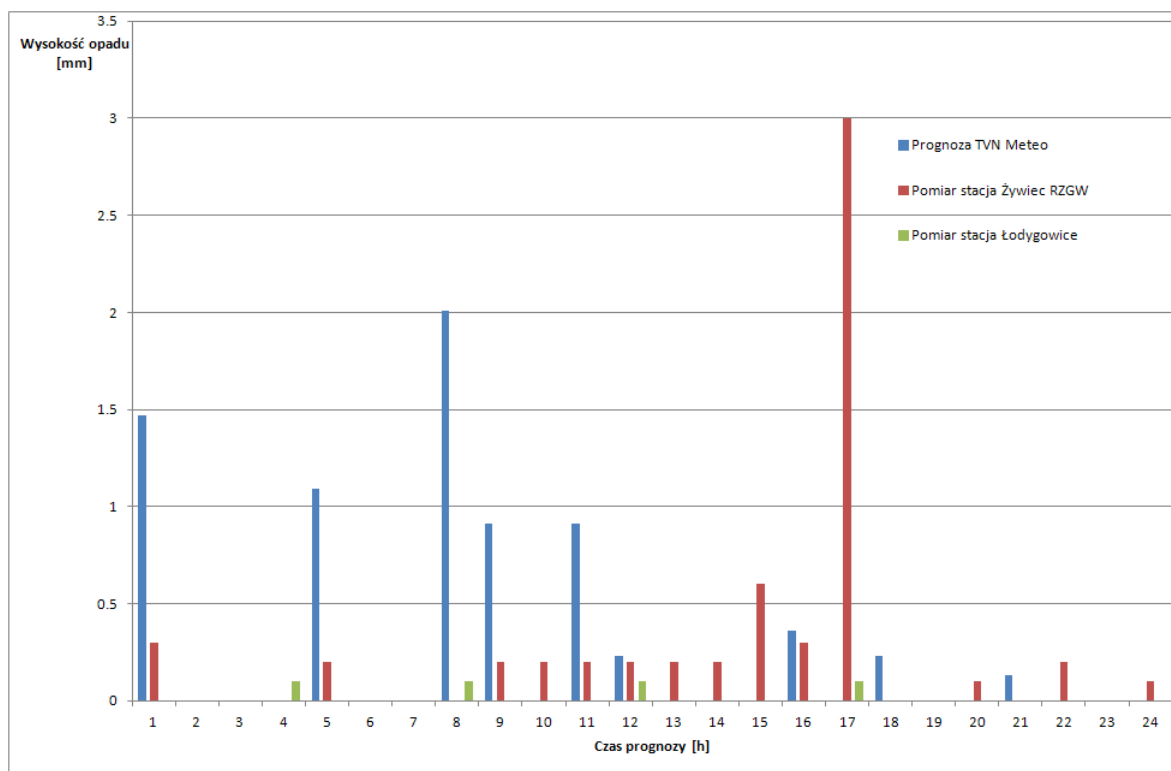
Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	4+2	7
	NIE	2	9

Dokonując analizy danych zamieszczonych w tabeli 13 stwierdzono, iż zdarzenia trafione miały miejsce 15 razy. W tym 9 zdarzeń sklasyfikowano jako poprawnie prognozowane braki wystąpienia zjawiska, a 2 jako zdarzenia przesunięte. Natomiast analizowana prognoza wystąpienia zjawiska była błędna dla 11 godzin. Reasumując, ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Łodygowice w dniu 31.07.2011 była poprawna w około 62.50%.

4.8 Prognoza i pomiary opadu dla dnia 1.08.2011

Na zamieszczonym rysunku 12 zestawiono ultrakrótkoterminową prognozę wysokości opadu atmosferycznego na dzień 1.08.2011 wraz z wynikami pomiarów dokonanych w tym dniu na stacjach Żywiec RZGW oraz Łodygowice.

Analizując dane przedstawione na rysunku 12 zauważono, iż opad atmosferyczny został zaobserwowany na stacji w Żywcu 14-krotnie, natomiast w Łodygowicach jedynie



Rysunek 12: Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 1.08.2011

czterokrotnie. Suma wysokości opadu zarejestrowana na stacji Żywiec RZGW w analizowanym dniu wyniosła 6 [mm]. Na stacji Łodygowice suma dobowego opadu atmosferycznego osiągnęła wartość 0.4 [mm]. Prognoza ultrakrótkoterminowa dla obydwu miejscowości była taka sama, a prognozowana suma wysokości dobowego opadu wyniosła 7.34 [mm]. Na podstawie analizy wykresu można również zauważyć, że prognoza błędnie przewiduje czas wystąpienia najintensywniejszych opadów (dla analizowanych 24 godzin). Według prognozy opad ten miał wystąpić w 8 godzinie, natomiast na stacji w Żywcu najwyższą wysokość opadu godzinowego zaobserwowano w 17 analizowanej godzinie.

Dla danych ze stacji w Żywcu obliczona różnica bezwzględna wyniosła 1.34 [mm]. Natomiast parametr ten obliczony dla danych ze stacji Łodygowice osiągnął wartość 6.94 [mm].

Tabela 14: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 1.08.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	6+2	1
	NIE	8	7

Analizując dane zamieszczone w tabeli 14 zauważono przewagę zdarzeń trafionych,

które wystąpiły 15-krotnie (w tym 2 zdarzenia przesunięte). Zdarzenia błędnie prognozowane miały miejsce 11 razy. Uwzględniając zdarzenia przesunięte można stwierdzić, iż w dniu 1.08.2011 ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Żywiec była poprawna w 62.50%.

Tabela 15: Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 1.08.2011)

Zdarzenie		Obserwowane	
		TAK	NIE
Prognozowane	TAK	2+2	5
	NIE	2	13

W trakcie analizy danych zamieszczonych w tabeli 15 stwierdzono wystąpienie 17 zdarzeń trafionych. Spośród nich, aż 13 sklasyfikowano jako zdarzenie d (zjawisko nie było prognozowane i nie wystąpiło). Wystąpiły również 2 zdarzenia przesunięte. Natomiast dla pozostałych 9 godzin prognoza wystąpienia opadu była błędna. Podsumowując, ultrakrótkoterminowa prognoza wystąpienia opadu atmosferycznego dla miejscowości Łodygowice w dniu 1.08.2011 była poprawna w około 70.83%.

Rozdział 5

Dyskusja wyników

Porównując dobowe sumy opadów można zauważyć duże zróżnicowanie pomiędzy zaobserwowanymi wysokościami opadu atmosferycznego na stacjach Żywiec RZGW i Łodygowice. Najwyższa różnica dobowych sum opadu wystąpiła 31.07.2011 i wyniosła 23.3 [mm]. Porównując dane zsumowane dla całego analizowanego okresu różnica jest ogromna. Na stacji pomiarowej w Żywcu, w okresie siedmiu dni poddanych analizie zaobserwowano opad w wysokości 99.9 [mm], natomiast na stacji w Łodygowicach wielkość ta wyniosła 1.9 [mm]. Biorąc pod uwagę, że stacje te są od siebie oddalone w linii prostej o 6.25 kilometra, wystąpienie tak dużych rozbieżności w wysokości opadu wydaje się wysoce nieprawdopodobne. Tak duża różnica pomiędzy obserwacjami może być spowodowana uszkodzeniem aparatury pomiarowej, błędami w zapisie lub odczycie danych albo nieprawidłowym umiejscowieniem stacji w Łodygowicach.

Prognozy dla obydwu miejscowości dla wszystkich dni przeprowadzonej analizy były takie same. Uwzględniając wzajemne położenie stacji można wnioskować, iż położone są na obszarze tego samego pola siatki obliczeniowej modelu prognostycznego. W trakcie analizowania danych prognostycznych przedstawionych na wykresach zauważono również tendencję do prognozowania niższych, od zaobserwowanych godzinowych wysokości opadów. Największa różnica pomiędzy prognozowaną godzinową sumą opadu, a wartością zaobserwowaną wystąpiła 27.07.2011 i wyniosła 8.5 [mm].

Analizując obliczone różnice bezwzględne można zauważyć, że zbliżone wartości tego parametru dla obydwu stacji występują w dniach 3.07.2011 oraz 23.07.2011. W pierwszym przypadku prognozowana dobową sumą opadu jest bliska średniej arytmetycznej sumy opadu z obydwu stacji. W drugim natomiast na stacji w Żywcu nie odnotowano opadu, natomiast na stacji w Łodygowicach odnotowano jeden epizod opadowy. Uśredniając ten parametr dla całego okresu analizy można stwierdzić, że większe różnice bezwzględne występują dla danych ze stacji w Łodygowicach.

Drugą wykorzystaną metodą było sporządzenie tablic wielorozdzielczych. Najwyższą trafność w przewidywaniu wystąpienia godzinowych opadów uzyskała prognoza dla Żywca w dniu 27.07.2011. Prognoza ta w 87.50% trafnie przewidywała godzinę wy-

stąpienia lub niewystąpienia opadu w ciągu analizowanej doby. Najmniejszą trafność osiągnęła prognoza dla Łodygowic w dniu 20.07.2011 — 41.67% trafnych godzinowych zdarzeń w ciągu doby. Uśredniając procentową poprawność prognoz w przewidywaniu wystąpienia opadu godzinowego dla całego okresu analizy, nieznacznie korzystniejszy wynik osiąga prognoza dla Łodygowic. Średnia trafność tej prognozy wyniosła 61.31% i jest o 1.19% wyższa od trafności prognozy dla Żywca. Jednak wynik ten nie odzwierciedla rzeczywistej trafności tych prognoz. W przypadku analizy danych dla miejscowości Łodygowice znaczny wpływ na pozytywny jej wynik miała duża ilość zdarzeń d (poprawnie prognozowany brak wystąpienia zjawiska). Na stacji w tej miejscowości opad był odnotowywany sporadycznie (prawdopodobnie błędnie) co ostatecznie zawyżyło ocenę trafności prognozy.

Biorąc pod uwagę możliwość wykorzystania tych prognoz do celów modelowania zagrożeń powodziowych ciężko jest, na podstawie posiadanych danych, określić ich przydatność. Jednak należy podkreślić, iż około 60% trafność w przewidywaniu wystąpienia godzinowego opadu jest bardzo przyzwoitym wynikiem dla ogólnodostępnej, darmowej prognozy.

Warto również wspomnieć, iż pomimo napotkanych w trakcie pracy błędów, Lokalny System Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych działający na terenie powiatu żywieckiego może być wykorzystywany jako w miarę wiarygodne, powszechnie dostępne źródło informacji o aktualnej i historycznej sytuacji meteorologicznej w powiecie.

Rozdział 6

Podsumowanie

Na przestrzeni kilkunastu ostatnich lat ultrakrótkoterminowe prognozy pogody stały się powszechnym źródłem informacji o stanie pogody. Dzięki rozwojowi wielu dziedzin nauk tego typu prognozy są obecnie ogólnodostępne. Na terenach górskich szczególnie przydatną informacją zawartą w prognozie pogody jest przewidywanie wystąpienia (lub niewystąpienia) opadu atmosferycznego. Takie informacje są chętnie wykorzystywane przez turystów, ale można z nich korzystać również w celach zarządzania kryzysowego. Należy jednak zweryfikować jakość takiej prognozy zanim zostanie ona wykorzystana w celu przewidywania zagrożeń powodziowych.

Celem tej pracy była weryfikacja ultrakrótkoterminowej prognozy wysokości opadu atmosferycznego dla obszaru powiatu żywieckiego pochodzącej z serwisu internetowego TVN Meteo. Jest to popularny meteorologiczny serwis internetowy oferujący różnego rodzaju prognozy w tym ultrakrótkoterminowe. Pomimo wielu prób kontaktu zarówno z samym serwisem jak i z osobami go tworzącymi, nie uzyskano informacji dotyczących metodyki tworzenia tychże prognoz. Na podstawie wstępnej analizy pobranych ze strony danych prognozowych ustalono, iż powstały one w oparciu o obliczenia mezoskalowego numerycznego modelu prognozy pogody. Na terenie tego powiatu funkcjonuje Lokalny System Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych z którego dane wykorzystano w trakcie analizy.

Analizie poddano dane prognozowe dla miejscowości Żywiec oraz Łodygowice. W obydwu tych miejscowościach znajdują się automatyczne hydrometeorologiczne stacje pomiarowe wchodzące w skład Lokalnego Systemu Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych. Analizując wzajemne położenie tych stacji stwierdzono, że są od siebie oddalone o około 6.25 kilometra w linii prostej. Prognozy wysokości opadu dla obydwu analizowanych miejscowości były takie same. Można więc stwierdzić, iż znajdują się one na obszarze tego samego pola siatki obliczeniowej numerycznego modelu prognozy.

W trakcie analizy danych stwierdzono, iż dane pomiarowe ze stacji w Łodygowicach są prawdopodobnie błędne. Miało to wpływ również na ocenę trafności prognozy dla tej miejscowości.

Analizując dane przedstawione na wykresach oraz porównując godzinowe warto-

ści wysokości opadu, zauważono iż prognozy TVN Meteo często przewidują znacznie niższe (od zaobserwowanych) godzinowe sumy opadu. Po uśrednieniu obliczonych wartości różnic bezwzględnych pomiędzy prognozowaną, a zaobserwowaną sumą dobowych opadów dla okresu 7 dni, stwierdzono, że mniejsze średnie dobowe różnice bezwzględne występowały dla prognoz, dla miejscowości Żywiec. Wartość ta wyniosła 8.95 [mm]. Natomiast średnia dobowa różnica bezwzględna pomiędzy prognozowaną dobową sumą opadu, a sumą dobową zaobserwowaną na stacji Łodygowice osiągnęła wartość 11.31 [mm].

Lepszą średnią trafność w prognozowaniu wystąpienia godzinowego opadu atmosferycznego osiągnęły prognozy dla miejscowości Łodygowice. Ich trafność wyniosła około 61.31%. Należy jednak uwzględnić, że na tak wysoki wynik duży wpływ miała jakość danych pomierzonych na stacji w Łodygowicach.

Można jednak stwierdzić, iż około 60% poprawność w prognozowaniu wystąpienia opadu jest dobrym wynikiem dla darmowej prognozy.

Rozdział 7

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, iż ultrakrótkoterminowe prognozy wysokości opadu atmosferycznego dla obszaru powiatu żywieckiego pochodzące z serwisu TVN Meteo w analizowanym okresie charakteryzowały się dobrą, około 60% średnią poprawnością w prognozowaniu wystąpienia godzinowego opadu atmosferycznego. Natomiast najwyższa trafność w prognozowaniu wystąpienia godzinowego opadu miała miejsce w dniu 27.07.2011 dla prognozy, dla miejscowości Żywiec. Osiągnęła ona wartość 87.50%. Biorąc pod uwagę, że jest to trafność godzinowa, można stwierdzić, iż jest to bardzo dobry wynik.

Warto również podkreślić, że na 7 analizowanych dni, tylko w 1 dniu (23.07.2011) prognoza błędnie przewidziała wystąpienie opadu dla miejscowości Żywiec — nie zaobserwowano, w ciągu analizowanej doby, jego wystąpienia na stacji Żywiec RZGW. Świadczy to o dobrej poprawności w prognozowaniu wystąpienia opadu w ciągu doby.

W trakcie analizy stwierdzono, iż dane pomiarowe ze stacji Łodygowice są błędne. Analizując położenie stacji Łodygowice względem stacji Żywiec RZGW można było oczekiwać zbliżonych wyników obserwacji. Na stacji w Żywcu w ciągu 7 analizowanych dni suma wysokości opadu osiągnęła wartość 99.9 [mm]. Natomiast na stacji w Łodygowicach w całym analizowanym okresie suma wysokości zaobserwowanego opadu wyniosła 1.9 [mm]. Tak duża różnica świadczy o błędności danych pochodzących ze stacji w Łodygowicach.

Posiadane dane weryfikacyjne pozwalają ocenić jakość prognozowania dobowych wysokości opadu atmosferycznego jedynie punktowo, dla miejscowości Żywiec. Największy błąd w prognozowaniu dobowej sumy wysokości opadu dla tej miejscowości wystąpił 25.07.2011 i osiągnął wartość 13.34 [mm]. Natomiast najmniejszy błąd wyniósł 1.34 [mm] i miał miejsce w dniu 1.08.2011. Średni dobowy błąd w prognozowaniu sumy wysokości dobowego opadu dla 7 dni analizy, dla miejscowości Żywiec wyniósł 8.95 [mm]. Biorąc pod uwagę, iż weryfikowana prognoza tworzona jest dla określonego

obszaru (prawdopodobnie około 49 kilometrów kwadratowych), natomiast dane obserwacyjne wykorzystane w weryfikacji są punktowe — można wnioskować, iż prognoza TVN Meteo w miarę poprawnie przewiduje dobowe sumy wysokości opadu atmosferycznego.

W trakcie weryfikacji stwierdzono występowanie błędów w Lokalnym Systemie Monitoringu i Ostrzeżeń Powodziowych. Dotyczą one błędnego wyświetlania danych pomiarowych na stronie internetowej systemu (błędnie wyświetlana wartość opadu chwilowego).

Bibliografia

- [1] Stefan Bednarczyk, Teresa Jarzębińska, Stanisław Mackiewicz, Elżbieta Wołoszyn. Vademecum ochrony przeciwpowodziowej. Gdańsk, 2006. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.
- [2] Stan Benjamin, Susan Sahn. dostęp: 21.12.2011. Strona internetowa systemu RUC, <http://ruc.noaa.gov/>.
- [3] Agnieszka Chylak, Tomasz Giza, Sebastian Kulikowski, Elżbieta Wrężlewicz. Aktualizacja programu ochrony Środowiska powiatu Żywieckiego na lata 2010–2017. dostęp: 04.01.2012. http://www.bip.starostwo.zywiec.pl/upload/file/AktualizacjaPowiatZywiecki2016_06_2010.pdf.
- [4] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. *System analizy danych z modeli numerycznych oraz system asymilacji i analizy danych*, Grudzień 2011. Sprawozdanie z wykonania projektu KLIMAT.
- [5] Aleksandra Kardaś. Przetwarzanie danych meteorologicznych. dostęp: 10.12.2011. Uniwersytet Warszawski, Instytut Geofizyki, Zakład Fizyki Atmosfery, http://www.igf.fuw.edu.pl/wyklady/pdm_notatki.pdf.
- [6] Urszula Kossowska-Cezak, Elżbieta Bajkiewicz-Grabowska. *Podstawy hydrometeorologii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [7] Peter Lynch. Richardson's forecast: What went wrong? dostęp: 15.12.2011. Symposium on the 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction, University of Maryland, 14-17 Czerwiec 2004, http://www.ncep.noaa.gov/nwp50/Presentations/Tue_06_15_04/Session_1/Lynch_NWP50.pdf.
- [8] Detlev Majewski. dostęp: 22.12.2011. Strona internetowa projektu COSMO, <http://www.cosmo-model.org/>.
- [9] Szymon Malinowski. Numeryczne prognozy pogody. dostęp: 10.12.2011. Uniwersytet Warszawski, Instytut Geofizyki, Zakład Fizyki Atmosfery, <http://www.igf.fuw.edu.pl/wyklady/fao/FA0-2005-6-W13.pdf>.

- [10] Szymon Malinowski. Prognozy meteorologiczne. dostęp: 10.12.2011. Uniwersytet Warszawski, Instytut Geofizyki, Zakład Fizyki Atmosfery, <http://www.igf.fuw.edu.pl/wyklady/fao/FA0-2005-6-W11.pdf>.
- [11] Szymon Malinowski. Prognozy pogody, czyli chaos i atmosfera. dostęp: 10.12.2011. Uniwersytet Warszawski, Instytut Geofizyki, Zakład Fizyki Atmosfery, <http://www.igf.fuw.edu.pl/wyklady/Chaos-i-pogoda.pdf>.
- [12] Krzysztof Markowicz. Metody przetwarzania danych meteorologicznych. dostęp: 13.12.2011. Uniwersytet Warszawski, Instytut Geofizyki, <http://www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja/wyklady/PrzetwarzanieDanychMeteo/2009/>.
- [13] Andrzej Mazur. Wdrożenie mezoskalowego numerycznego modelu meteorologicznego Im cosmo do praktyki operacyjnej. *Gazeta Obserwatora IMGW*, 5:22–23, 2004. <http://www.imgw.pl/wl/internet/zz/dziala/obserwator/obserwator2004/arttykul9041116001.pdf>.
- [14] Małgorzata Melonek. Porównanie wyników weryfikacji modeli numerycznych prognoz pogody działających operacyjnie w icm. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 6:31–42, 2011. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, http://infraeco.pl/pl/art/a_16271.htm.
- [15] Hans Meuer, Erich Stohmaier, Jack Dongarra. dostęp: 20.12.2011. Ranking superkomputerów, <http://www.top500.org/>.
- [16] Monterey Marine Meteorology Division Naval Research Laboratory. dostęp: 22.12.2011. Strona internetowa projektu COAMPS, <http://www.nrlmry.navy.mil/coamps-web/web/home>.
- [17] The Met Office. dostęp: 22.12.2011. Strona internetowa projektu UM, <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model>.
- [18] Patricia Pottier. dostęp: 22.12.2011. Strona internetowa projektu ALADIN, <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/spip.php?article3>.
- [19] David J. Stenstrud. *Parametrization Schemes Keys to Understanding Numerical Weather Prediction Models*. Cambridge University Press, 2007. strony 1–5.
- [20] Łukasz Stawiarz, Robert Gaździk. Globalne prognozowanie pogody. dostęp: 10.12.2011. Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, <http://www.stawiarz.pl/projects/ksn/gpp.pdf>.
- [21] Alojzy Woś. *Meteorologia dla geografów*. Wydawnictwo naukowe UAM, 2006.

Spis rysunków

1	Schemat asymilacji danych w trakcie obliczeń modelu prognostycznego . . .	9
2	Sposób wyświetlania prognoz krótkoterminowych wysokości opadu atmosferycznego oraz temperatury na stronie TVN Meteo	16
3	Zestawienie krótkoterminowych prognoz wysokości opadu atmosferycznego dla Krakowa dla dnia 19.01.2012	18
4	Przykładowe wyświetlanie wartości opadu chwilowego dla stacji Żywiec RZGW w dniu 20.07.2011	21
5	Położenie stacji hydrometeorologicznych Żywiec RZGW oraz Łodygowice .	22
6	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 3.07.2011	23
7	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 20.07.2011	25
8	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 23.07.2011	26
9	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 25.07.2011	28
10	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 27.07.2011	30
11	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 31.07.2011	31
12	Prognoza oraz pomiar wysokości opadu dla dnia 1.08.2011	33

Spis tabel

1	Tabela wielorozdzielcza 2x2	20
2	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 3.07.2011)	24
3	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 3.07.2011)	24
4	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 20.07.2011)	25
5	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 20.07.2011)	26
6	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 23.07.2011)	27
7	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 23.07.2011)	27
8	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 25.07.2011)	29
9	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 25.07.2011)	29
10	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 27.07.2011)	30
11	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 27.07.2011)	31
12	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 31.07.2011)	32
13	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 31.07.2011)	32
14	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Żywiec RZGW (dla dnia 1.08.2011)	33
15	Tabela wielorozdzielcza 2x2 sporządzona dla stacji Łodygowice (dla dnia 1.08.2011)	34