

**Uniwersytet Śląski**  
**Wydział Nauk Przyrodniczych**  
**Instytut Nauk o Ziemi**

mgr Radosław Drożdźoł

**Ocena jakości danych z amatorskich stacji meteorologicznych oraz  
możliwości ich włączenia do systemu pomiarowo-obserwacyjnego  
Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (PSHM)**

**Evaluation of the quality of data from amateur weather stations and  
the possibility of their inclusion in the measurement and observation  
system of the National Hydrological and  
Meteorological Network (PSHM)**

**Rozprawa doktorska**  
**w zakresie nauk ścisłych i przyrodniczych**  
**dyscyplina: nauki o Ziemi i środowisku**

Promotor

prof. dr hab. inż. Mariusz Figurski

dr hab. prof. UŚ Damian Absalon

Opiekun przemysłowy

dr hab. prof. IMGW-PIB Jan Szturc

Sosnowiec 2023



## **Podziękowania**

Na powstanie i ostateczny kształt mojej pracy doktorskiej miało wpływ wiele osób, którym chciałbym w tym miejscu podziękować.

Przede wszystkim pragnę podziękować moim promotorom prof. dr hab. inż. Mariuszowi Figurskiemu za poświęcony mi czas i pomoc podczas pisania pracy doktorskiej oraz dr hab. prof. UŚ Damianowi Absalonowi za wszelkie wskazówki i za obdarzenie mnie zaufaniem.

Pragnę podziękować mojemu opiekunowi dr hab. prof. IMGW-PIB Janowi Szturcowi za wsparcie i bezcenne uwagi.

Pragnę także wyrazić moją wdzięczność dr Grzegorzowi Duńcowi za wszelkie wskazówki, poświęcony mi czas i pomoc podczas pisania pracy doktorskiej.

Dziękuję serdecznie dr hab. prof. UŚ Ewie Łupikaszcy za możliwość konsultacji.

dr inż. Marcie Gruszczyńskiej za zaufanie, pomoc, cenne wskazówki i możliwość pracy w tak świetnym zespole.

Pragnę jeszcze osobno wyrazić wdzięczność żonie Kamili i córce Zuzannie za cierpliwość i zrozumienie oraz rodzicom za wsparcie duchowe i ogromny entuzjazm.

## Streszczenie

Praca przedstawia ocenę jakości danych pochodzących z pomiarów meteorologicznych wykonanych niskobudżetowymi czujnikami na amatorskich stacjach pomiarowych oraz możliwości ich włączenia do Państwowej Sieci Hydrologiczno-Meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego.

W pracy dokonano analizy typów amatorskich stacji meteorologicznych, rodzajów pomiarów wykonywanych za pomocą tych urządzeń oraz różnych kanałów dystrybucji danych pomiarowych. Scharakteryzowano także różne sieci amatorskich stacji meteorologicznych oraz przeprowadzono ocenę ilościową stacji w poszczególnych sieciach zrzeszających amatorskich obserwatorów.

Pomiary i analizy porównawcze wykonane na poligonie doświadczalnym i stacji synoptycznej IMGW-PIB w Katowicach - Muchowcu oraz weryfikacja i ocena zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów o dużej intensywności, w których wykorzystano zweryfikowane dane z amatorskich sieci stacji udowodniły, że mogą one stać się doskonałym źródłem nowych informacji o przeszłym i aktualnym stanie atmosfery.

Nauka obywatelska (ang. citizen science) to nowy wymiar budowy społeczeństwa obywatelskiego. Polega na zbieraniu obserwacji przez uczestników projektu, którzy za pomocą Internetu i pośredniczącej instytucji naukowej tworzą powszechnie dostępną bazę danych. Tak powstała koncepcja pozyskiwania danych meteorologicznych od obserwatorów - wolontariuszy wykonujących swoje obserwacje i pomiary. Sieć stacji pomiarowych służb meteorologicznych np. IMGW-PIB charakteryzuje się stosunkowo małą gęstością w odniesieniu do powierzchni całego kraju. Aby podnieść jakość informacji o występowaniu zjawisk ekstremalnych, które z reguły są małoskalowe, niezbędne jest zagęszczanie sieci obserwacyjnej oraz umożliwienie wolontariuszom raportowania zdarzeń z wykorzystaniem Internetu. Z przeprowadzonych badań wynika, że dynamiczne uzupełnianie danych pomiarowych IMGW-PIB stacjami wolontariuszy nie tylko zwiększy możliwość monitorowania zjawisk ekstremalnych, ale również podniesie jakość numerycznych modeli pogody, szczególnie ultra krótkoterminowych.

W dalszej części pracy przedstawiono procedury włączenia danych z dostępnego systemu APRS do systemu pomiarowo-obserwacyjnego IMGW-PIB. W ramach wdrożenia utworzone zostają kody w języku oprogramowania Python. Kody umożliwiają pobieranie, zapis do bazy danych oraz wstępną kontrolę jakości danych z amatorskich stacji

meteorologicznych. Pracę uzupełnia pierwszy w kraju przewodnik sytuowania, działania, kontroli oraz oceny jakości wybranych danych pomiarowych z amatorskich stacji meteorologicznych.

Opracowana przez autora w pracy koncepcja jest na poziomie gotowości technologicznej, gwarantującej przeprowadzenie wdrożenia, co obecnie jest realizowane w ramach strategii IMGW-PIB na lata 2021-2025.

## **Abstract**

The paper presents an assessment of the quality of data from meteorological measurements made with low-cost sensors at amateur weather stations and the possibility of their inclusion in the National Hydrological and Meteorological Network (PSHM) of the Institute of Meteorology and Water Management - National Research Institute (IMGW-PIB).

The paper analyzes the types of amateur meteorological stations, the types of measurements made with these instruments and some measurement data distribution channels. Various networks of amateur weather stations were also characterized and a quantitative assessment of stations in individual networks associating amateur observers was made.

Measurements and comparative analyzes carried out at the testing ground and synoptic station of IMGW-PIB in Katowice-Muchowiec, as well as the verification and evaluation of extreme events on the example of high-intensity rainfall, in which verified data from amateur station networks were used, proved that they can become an excellent source of new information about the past and present state of the atmosphere.

Citizen science is a new dimension in building a civil society. It consists in collecting observations by project participants who, using the Internet and an intermediary scientific institution, create a publicly available database. This is how the concept of obtaining meteorological data from observers - volunteers performing their observations and measurements was born. The network of measuring stations of meteorological services, e.g. IMGW-PIB, has a relatively low density in relation to the area of the entire country. In order to improve the quality of information on the occurrence of extreme events, which are usually small-scale, it is necessary to thicken the observation network and enable volunteers to report events using the Internet. The conducted research shows that dynamic supplementation of IMGW-PIB measurement data with volunteer stations will not only increase the possibility of monitoring extreme phenomena, but also improve the quality of numerical weather models, especially ultra-short-term ones.

The further part of the work presents the procedures for including data from the available APRS system into the IMGW-PIB measurement and observation system. As part of the implementation, Python codes are created. The codes enable downloading, saving to the database and initial quality control of data from amateur meteorological stations. The work is

supplemented by the country's first guide to situating, operating, controlling and assessing the quality of selected measurement data from amateur meteorological stations.

## Spis treści:

<b>Wstęp</b> .....	<b>13</b>
1.1. Hipoteza i cele pracy. ....	14
1.2. Materiał i metody badań. ....	15
1.3. Układ pracy.....	17
<b>2. Amatorskie stacje meteorologiczne.</b> .....	<b>18</b>
<b>3. Sieci amatorskich stacji meteorologicznych.</b> .....	<b>21</b>
<b>4. Możliwość oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie pomiarów specjalnych</b> .....	<b>24</b>
4.1. Porównanie pomiarów opadu atmosferycznego wykonanych wybranymi deszczomierzami amatorskimi z pomiarami deszczomierzem Hellmanna. ....	25
4.1.1. Modelowanie.....	34
4.1.1.1. Opis modeli. ....	34
4.1.1.2. Estymacja i porównanie modeli. ....	35
4.1.1.3. Porównanie mocy predykcijnej deszczomierzy amatorskich.....	36
4.1.2. Porównanie parametrów. ....	37
4.2. Porównanie pomiarów temperatury powietrza, wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego, prędkości, porywu i kierunku wiatru.....	39
4.2.1. Porównanie pomiarów temperatury powietrza. ....	42
4.2.2. Porównanie pomiarów ciśnienia atmosferycznego.....	44
4.2.3. Porównanie pomiarów wilgotności względnej powietrza. ....	45
4.2.4. Porównanie pomiarów prędkości wiatru. ....	46
4.2.5. Porównanie pomiarów porywu wiatru.....	46
4.2.6. Porównanie pomiarów kierunku wiatru.....	47
4.2.7. Analiza regresji - podobieństwo danych.....	48
<b>5. Możliwość wykorzystania amatorskich stacji meteorologicznych do zweryfikowania i oceny zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów o dużej wydajności.</b> .....	<b>49</b>
<b>6. Możliwość oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie dokumentacji technicznej.</b> .....	<b>73</b>
<b>7. Kontrola jakości.</b> .....	<b>79</b>
7.1. Reprezentatywność meteorologicznego stanowiska pomiarowego.....	80
7.2. Ekspozycja meteorologicznych przyrządów pomiarowych na stanowiskach automatycznych stacji meteorologicznych.....	82
7.3. Kontrola jakości danych z automatycznych stacji meteorologicznych. ....	83
7.3.1. Definicje kontroli jakości.....	85
7.3.2. Procedury kontroli jakości poziomu pierwszego.....	86



7.3.3. Procedury rozszerzonej kontroli jakości.....	91
7.4. Sytuowanie, działanie i kontrola jakości amatorskich stacji meteorologicznych.....	95
<b>8. Wyniki końcowe i podsumowanie.....</b>	<b>95</b>
<b>9. Bibliografia .....</b>	<b>100</b>
<b>10. Załączniki.....</b>	<b>106</b>
10.1. Poradnik dla amatorskich stacji meteorologicznych. ....	106
10.1.1. Przedmowa.....	106
10.1.2. Po pierwsze bezpieczeństwo.....	108
10.1.3. Parametry. ....	110
10.1.3.1. Temperatura powietrza i punktu rosy.....	110
10.1.3.2. Opad atmosferyczny.....	113
10.1.3.3. Wiatr.....	121
10.1.3.4. Ciśnienie atmosferyczne. ....	129
10.1.4. Zakup stacji meteorologicznej i uwagi dotyczące montażu. ....	134
10.1.4.1. Uwagi przed zakupem. ....	134
10.1.4.2. Rozmieszczenie czujników. ....	137
10.1.5. Uwagi dotyczące zakupu i konfigurowania amatorskiej stacji meteorologicznej. .....	139
10.1.5.1. Rejestratory danych.....	139
10.1.5.2. Określenie położenia i wysokości. ....	139
10.1.5.3. Czas. ....	141
10.1.5.4. Książka stacji.....	141
10.1.5.5. Czujniki zapasowe.....	141
10.1.5.6. Archiwum stacji i danych klimatycznych. ....	141
10.1.5.7. Porady dotyczące obsługi stacji. ....	142
10.2. System APRS. ....	143
10.2.1. Raporty pogodowe. ....	146
10.2.1.1. Rodzaje raportów pogodowych.....	146
10.2.1.2. Identyfikatory typu danych. ....	146
10.2.1.3. Surowe raporty pogodowe. ....	146
10.2.1.4. Raporty pogodowe bez położenia. ....	147
10.2.1.5. Oprogramowanie APRS.....	147
10.2.1.6. Typ stacji pogodowej. ....	148
10.2.1.7. Dane pogodowe bez położenia.....	148
10.2.1.8. Lokalizacja stacji pogodowych przekazujących surowe dane i dane bez położenia. ....	149

10.2.1.9. Symbole stacji pogodowych przekazujących surowe dane i dane bez położenia. ....	150
10.2.1.10. Kompletnie raporty pogodowe ze znacznikiem czasu i położeniem. ....	150
10.2.1.11. Dane o burzach.....	151
10.2.2. APRS - IS.....	152
10.2.2.1. Citizen Weather Observer Program. ....	154
10.3. Procedura włączenia danych z PWS do systemu pomiarowo-obszernacyjnego IMGW-PIB. ....	156
10.4. Kod pobierający dane i kontrola jakości. ....	160
10.4.1. Kod nr 1 – crawler. ....	160
10.4.2. Kod nr 2 – date.....	161
10.4.3. Kod nr 3 – parser.....	162

## Spis ważnych skrótów i oznaczeń.

<b>APRS</b>	(ang. Automatic Packet Reporting System) amatorski, automatyczny system służący ustalaniu pozycji ruchomych obiektów
<b>AWEKAS</b>	(niem. Automatisches Wetterkarten System) sieć amatorskich stacji meteorologicznych <a href="https://www.awekas.at/">https://www.awekas.at/</a>
<b>CoCoRaHS</b>	(ang. Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network) sieć wolontariuszy wykonujących pomiary opadu deszczu, gradu i śniegu
<b>CWOP</b>	(ang. Citizen Weather Observer Program) sieć amatorskich stacji meteorologicznych <a href="https://aprs.fi/">https://aprs.fi/</a>
<b>ICT</b>	(ang. Information and Communications Technology) teleinformatyka
<b>IDW</b>	(ang. Inverse-Distance Weighting) metoda średniej ważonej odległością.
<b>IMGW-PIB</b>	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.
<b>NMHS</b>	(ang. National Meteorological and Hydrological Services) narodowe służby meteorologiczne i hydrologiczne
<b>NWS</b>	(ang. National Weather Service) narodowa służba pogodowa Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej
<b>PBL</b>	(ang. Planetary Boundary Layer) planetarna warstwa graniczna
<b>PSHM</b>	Państwowa Służba Hydrologiczno-Meteorologiczna
<b>PWS</b>	(ang. Personal Weather Station) amatorska stacja meteorologiczna.
<b>RainGRS</b>	System RainGRS generuje estymowane pola opadu z wysoką rozdzielczością czasową i przestrzenną (10 min, 1 km). Wejściami są dane dostarczane przez różne techniki pomiarowe: sieć deszczomierzowa IMGW-PIB, sieć radarowa POLRAD uzupełniona o dane z radarów zagranicznych, oraz pomiary satelitarne Meteosat. Wszystkie dane są weryfikowane i korygowane dedykowanymi algorytmami. Łączenie poszczególnych danych wejściowych odbywa się za pomocą algorytmu kombinacji warunkowej, uwzględniającego także ilościową informację o rozkładzie przestrzennym ich jakości.

<b>Rapid Fire</b>	Protokół Rapid Fire umożliwia aktualizowanie pomiarów amatorskiej stacji meteorologicznej z częstotliwością do jednej obserwacji co 2,5 sekundy
<b>RSL</b>	(ang. Roughness Sub-Layer) warstwa tarczyowa
<b>UCL</b>	(ang. Urban Canopy Layer) miejska warstwa dachowa
<b>WMO</b>	(ang. World Meteorological Organization) Światowa Organizacja Meteorologiczna.
<b>WU</b>	(ang. Weather Underground) sieć amatorskich stacji meteorologicznych <a href="https://www.wunderground.com/">https://www.wunderground.com/</a>

## **Wstęp.**

Prowadzenie osłony hydrologiczno-meteorologicznej kraju jest jednym ze statutowych zadań Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Najważniejszym elementem osłony jest informowanie o aktualnych warunkach hydrologicznych i meteorologicznych, opracowywanie i przekazywanie organom administracji publicznej ostrzeżeń przed niebezpiecznymi zjawiskami atmosferycznymi i ich skutkami.

Wyniki pomiarów meteorologicznych, które wykonywane są w sieci pomiarowo-obszaryjnej wykorzystywane są do celów operacyjnych (analiza bieżącego i przyszłego stanu atmosfery i hydrosfery) oraz do badań historycznych (klimatycznych), w tym również tak ważnych obecnie trendów zmiany klimatu. Dane dotyczące atmosfery i hydrosfery pozyskiwane na stacjach i posterunkach pomiarowych muszą być wiarygodne czasowo i przestrzennie z danymi z innych krajów, oraz muszą spełniać zalecenia Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) dotyczące standardów i jakości wykonywanych obserwacji oraz pomiarów.

Państwowa Służba Hydrologiczno-Meteorologiczna (PSHM) wykonuje zadania w zakresie osłony meteorologicznej. W tym celu posiada i utrzymuje podstawową oraz specjalnie sieci pomiarowo-obszaryjne oraz gromadzi i przetwarza dane pomiarowe. Rzetelnie wykonywane zadania PSHM pozwalają na dostarczenie wiarygodnych informacji o stanie atmosfery, w sytuacjach zwyczajnych i w czasie zagrożeń. Pierwszym i głównym systemem wchodzącym w skład PSHM jest system pomiarowo-obszaryjny składający się z naziemnej meteorologicznej sieci, na którą składa się: 45 stacji synoptycznych I rzędu, 18 stacji synoptycznych II rzędu, 67 stacji klimatologicznych III rzędu, 137 stacji klimatologicznych IV rzędu oraz 659 stacji opadowych V rzędu. Łącznie daje to liczbę 926 stacji meteorologicznych (stan na dzień 30.06.2019 (1)). W Polsce przeciętnie na jedną stację meteorologiczną przypada powierzchnia około 4875 km<sup>2</sup>, co odpowiada średniej odległości między stacjami około 78 km. Jest to stosunkowo duża odległość, która w przypadku wystąpienia niektórych zjawisk towarzyszącym chmurom burzowym, takich jak nawalne opady, grad czy trąby powietrzne, może być przyczyną niezarejestrowania zjawiska przez system pomiarowy.

Tematem rozprawy jest ocena jakości danych z amatorskich stacji meteorologicznych oraz możliwości ich włączenia do systemu pomiarowo-obszaryjnego PSHM. Tu pojawia się możliwość wykorzystania danych meteorologicznych od obserwatorów - wolontariuszy

wykonujących pomiary za pomocą niskobudżetowych czujników wykonujących pomiar aktualnego stanu atmosfery i udostępniających wyniki w sieci Internet.

Nauka obywatelska (ang. citizen science) to nowy wymiar budowy społeczeństwa obywatelskiego. Polega na zbieraniu obserwacji przez uczestników projektu, którzy za pomocą Internetu i pośredniczącej instytucji naukowej tworzą powszechnie dostępną bazę danych. Podstawową wadą obecnej sieci PSHM jest stosunkowo mała gęstość stacji meteorologicznych w odniesieniu do powierzchni kraju. Aby podnieść jakość informacji o zjawiskach ekstremalnych niezbędne jest zagęszczenie sieci pomiarowo-obserwacyjnej oraz umożliwienie wolontariuszom raportowanie zdarzeń ekstremalnych za pośrednictwem sieci Internet. Efektem końcowym projektu ma być opracowanie przykładowego systemu, sieci stacji meteorologicznych.

Wdrożenie ma przyczynić się do: poprawy bezpieczeństwa oraz zdrowia i życia obywateli, poprzez uzyskanie dodatkowego źródła danych o procesach zachodzących w atmosferze oraz wzrostu poziomu innowacyjności Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, kształtowania pozytywnego wizerunku nauki w społeczeństwie poprzez otwarcie się na obywatelskie źródła danych meteorologicznych, rozpowszechnienia wiedzy w zakresie monitorowania, bezpieczeństwa i przewidywania niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych zachodzących w atmosferze.

### **1.1. Hipoteza i cele pracy.**

Hipoteza badawcza rozprawy brzmi:

Dane pomiarowe z amatorskich stacji meteorologicznych mogą stanowić dodatkowe źródło informacji dla Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej.

Tak sformułowana hipoteza rozprawy wymaga wytyczenia następujących celów:

1. Analiza ilościowa amatorskich stacji meteorologicznych w poszczególnych sieciach amatorskich stacji meteorologicznych.
2. Określenie stopnia wiarygodności wyników pomiarów uzyskanych z amatorskich stacji meteorologicznych poprzez ilościowe i jakościowe porównanie pomiarów.
3. Analiza możliwości wykorzystania danych amatorskich stacji meteorologicznych do zidentyfikowania i pomiaru ekstremalnych zjawisk o zasięgu lokalnym.
4. Opracowanie procedur oceny jakości wybranych danych takich jak: temperatura powietrza, opad atmosferyczny oraz wilgotność powietrza.

## 1.2. Materiał i metody badań.

Do przeprowadzenia analiz w pracy wykorzystano dane pomiarowe pochodzące z wybranych stacji meteorologicznych należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) oraz dane z amatorskich stacji meteorologicznych. Źródłem danych archiwalnych z amatorskich stacji meteorologicznych były głównie internetowe, prywatne portale zrzeszające właścicieli stacji. Dostęp do danych historycznych możliwy był dzięki czynnemu, kilkunastoletniemu członkostwu w większości portali.

Na potrzeby badań wykorzystano, istniejącą od 2007 roku, amatorską stację meteorologiczną Davis Vantage Vue w Będzinie-Grodźcu. W 2019 roku zamontowano 6 kolejnych urządzeń w następujących lokalizacjach:

- Będzin-Grodziec (województwo śląskie) – stacja Davis Vantage Pro 2A, deszczomierz Stratus, deszczomierz Hellmanna;
- Katowice-Muchowiec (województwo śląskie) – stacja Davis Vantage Pro 2A;
- Kazimierza Wielka (województwo świętokrzyskie) – stacja WH 1080;
- Janków Przygodzki (województwo wielkopolskie) – stacja WH 1080.

Na stworzonym w Będzinie-Grodźcu poligonie doświadczalnym wykonane zostały pomiary porównawcze danych opadu atmosferycznego. Okres sesji pomiarowej trwał nieprzerwanie od 1 października 2019 roku do 31 grudnia 2020 roku. Z uwagi na pomiary wykonywane dwoma deszczomierzami manualnymi na tym poligonie doświadczalnym konieczna była dzienna (o godzinie 6:00 UTC) wizyta na stacji w celu dokonania pomiaru deszczomierzem Stratus oraz deszczomierzem Hellmanna.

Następna stacja zamontowana została w ogródku meteorologicznym stacji synoptycznej Katowice-Muchowiec. Tu sesja pomiarowa trwała od 1 października 2019 roku do 31 grudnia 2021 roku. W tej lokalizacji, z uwagi na pełną automatyzację pomiarów, wizyty ograniczone były do dwóch na miesiąc i polegały na konserwacji wszystkich czujników stacji Davis Vantage Pro 2A. Stacja dokonywała pomiaru i zapisu w odstępach 5 minut oraz włączona została do wszystkich dostępnych w kraju sieci amatorskich stacji meteorologicznych.

W ostatnich dwóch lokalizacjach w Kazimierzy Wielkiej i Jankowie Przygodzkim nawiązano w 2019 roku współpracę z wolontariuszami, którym udostępniono stacje WH 1080. W Kazimierzy Wielkiej wolontariuszem został nauczyciel z Liceum Ogólnokształcącego im.

Marii Curie-Skłodowskiej, który będąc pasjonatem i byłym pracownikiem stacji synoptycznej IMGW-PIB stworzył na terenie szkoły ogródek meteorologiczny. Celem współpracy była ocena współdziałania z młodzieżą szkolną przy wykonywaniu pomiarów meteorologicznych. Wolontariusz z Jankowa Przygodzkiego nie posiadał doświadczenia w wykonywaniu pomiarów meteorologicznych. Tu zamontowano stację i przeprowadzono dwudniowe szkolenie. Dalszy kontakt z wolontariuszami, z powodu pandemii COVID-19, został ograniczony do spotkań on-line.

Wieloletnie członkostwo w różnych nieformalnych grupach zrzeszających pasjonatów amatorskich stacji meteorologicznych, współpraca z wolontariuszami oraz kilkunastoletnie wykonywanie pomiarów pozwoliły na stworzenie poradnika dla amatorskich stacji meteorologicznych oraz wewnętrznej, testowej bazy danych IMGW-PIB.

W celu analizy ilościowej oraz oceny możliwości wykorzystania amatorskich stacji meteorologicznych do zweryfikowania zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów o dużej wydajności wykorzystano informacje oraz dane z dostępnych sieci meteorologicznych stacji amatorskich.

W pracy wykorzystano synoptyczne dane historyczne, materiały pomiarowo-obszaryjne, produkty radarów meteorologicznych oraz dane z systemu RainGRS IMGW-PIB.

W celu oceny jakości danych pochodzących z poligonu doświadczalnego w Będzinie-Grodźcu oraz w ogródku meteorologicznym stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec za pomocą pakietu statystycznego R 4.0.2., programu IBM SPSS Statistics 28 oraz pakietu Microsoft Excel wykonano analizy za pomocą modelu regresji liniowej. Zaprezentowano ogólną postać testowanych modeli, opisano procedurę estymacji parametrów modeli oraz metodę porównawczą dopasowania modeli do danych. Dzięki porównaniu modeli, w których predyktory stanowiły pomiary z deszczomierzy amatorskich wskazany został deszczomierz, którego pomiary były najsilniej związane z pomiarami z deszczomierzem referencyjnym (deszczomierzem Hellmanna) oraz przetestowana została zależność błędów pomiaru od wybranych okresów pomiarowych. W celu porównania danych ze stacji amatorskiej i stacji synoptycznej w Katowicach-Muchowcu każdorazowo wykonywana została analiza wariancji dla pomiarów wielokrotnych oraz analiza regresji liniowej.

Ocena możliwości wykorzystania amatorskich stacji meteorologicznych do zweryfikowania zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów o dużej wydajności możliwa



była głównie dzięki porównaniu danych archiwalnych produktów radarów meteorologicznych i danych z systemu RainGRS. Wykorzystano także klasyfikację opadów ulewnych i nawałnych opierając się na analizie ich wydajności (skala Chomicza).

Na potrzeby analiz wykonano 1970 interpolowanych map, przy użyciu różnych metod i liczby interpolowanych punktów. Każda mapa posłużyła do obliczenia jedynie jednej wartości liczbowej dla punktu usuniętego ze zbioru interpolowanych zgodnie z założeniem metody „leave one out”. Na podstawie 1970 map przygotowano 164 zestawy danych, które można było porównać z opadem obserwowanym na stacjach IMGW-PIB. Trzy dane z deszczomierzy IMGW-PIB oraz inne porównywane zbiory danych (interpolowany IMGW-PIB, interpolowany IMGW-PIB + PWS i RainGRS), analizowano za pomocą tablic kontyngencji. Wskaźnikami oceny dokładności estymacji opadów były: współczynnik korelacji (R), współczynnik Nasha-Sutcliffe'a (NSE), błąd procentowy (Percent Bias), błąd średniokwadratowy (RMSE) i znormalizowany błąd (NBIAS).

### **1.3. Układ pracy.**

Praca składa się z ośmiu rozdziałów oraz załączników.

1. *Wstęp.* W tej części przedstawiono tezę i cele pracy. Zaprezentowano metody badań. Omówiono układ pracy.
2. *Amatorskie Stacje Meteorologiczne.* W punkcie tym szczegółowo omówiono zagadnienie amatorskich stacji meteorologicznych. Przedstawiono typy amatorskich stacji meteorologicznych oraz możliwości rozprowadzania danych pomiarowych.
3. *Sieci amatorskich stacji meteorologicznych.* Punkt ten dotyczy analizy ilościowej amatorskich stacji meteorologicznych w różnych sieciach na terenie Polski.
4. *Możliwość oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie pomiarów specjalnych.* W tym punkcie, na podstawie przeprowadzonych pomiarów porównawczych, dokonano oceny danych pomiarowych pochodzących z pomiarów czujnikami niskobudżetowymi. Pomiar porównawczy wykonywane były na poligonie doświadczalnym, gdzie porównywano opad atmosferyczny oraz na stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec, gdzie porównywano temperaturę powietrza, wilgotność względną powietrza, ciśnienie atmosferyczne, prędkość, poryw i kierunek wiatru.
5. *Możliwość wykorzystania amatorskich stacji meteorologicznych do zweryfikowania i oceny zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów o dużej wydajności.* W punkcie piątym pracy sprawdzono możliwości wykorzystania amatorskiej sieci stacji meteorologicznych do

zweryfikowania i oceny najintensywniejszych faz opadu atmosferycznego, który wystąpił w ciągu dwóch wybranych przez autora dni. Dane opadu atmosferycznego z tych stacji porównane zostały z danymi sieci stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego.

6. *Możliwość oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie dokumentacji technicznej.* W tym punkcie dokonano oceny jakości kilku amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie dokumentacji technicznej udostępnionej na stronach internetowych producentów stacji.
7. *Kontrola jakości.* W tym punkcie dokonano przeglądu procedur kontroli jakości danych z automatycznych stacji meteorologicznych.
8. *Wyniki końcowe i podsumowanie.* W kolejnym punkcie przeprowadzono dyskusję uzasadniającą poprawność postawionej w rozdziale pierwszym hipotezy. Przedstawiono także problemy, jakie pojawiły się podczas realizacji pracy.

*Załączniki.* W załączniku przedstawiono poradnik sytuowania, działania i kontroli jakości amatorskich stacji meteorologicznych. Opisano i przeanalizowano system APRS oraz stworzono procedurę włączenia danych z APRS do systemu pomiarowo-obszernego IMGW-PIB. Zaprezentowano także kod pobierający dane z sieci APRS oraz kod kontroli jakości danych.

## **2. Amatorskie stacje meteorologiczne.**

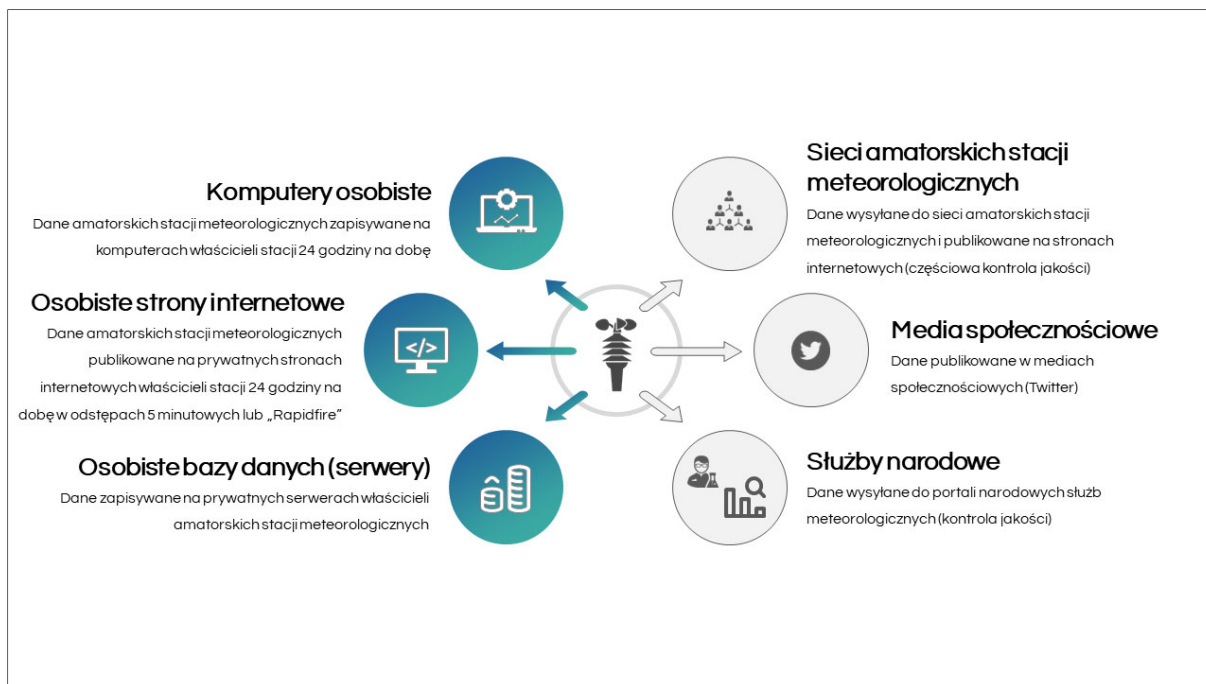
Amatorskie stacje meteorologiczne to w większości niskobudżetowe urządzenia pomiarowe, które dokonują pomiarów typowych parametrów atmosfery ziemskiej, do których należą: temperatura powietrza, wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne, opad atmosferyczny, prędkość, poryw i kierunek wiatru (Rys. 1). Niektóre ze stacji posiadają również podgrzewane deszczomierze, czujniki temperatury przy gruncie, czujniki wilgotności gleby, detektory rosy, czujniki promieniowania UV oraz czujniki jakości powietrza. Pasjonaci posiadający takie stacje, wykonują obserwacje meteorologiczne, które zapisywane są w dziennikach pomiarowych w formie elektronicznej co 1, 5, 10, 15, 20 i 30 minut lub w formie pisemnej.



Rys. 1. Amatorskie stacje meteorologiczne: (a) Davis Vantage Pro2, (b) Netatmo Weather Station, (c) Eurochron EFWS 2900, (d) TFA Dostmann WLAN VIEW PRO, (e) Oregon Scientific WMR88. Opracowanie własne na podstawie grafik z Internetu (2) (3) (4) (5) (6).

Amatorskie stacje meteorologiczne (7) (3) (4) (5) (6) składają się głównie z dwóch urządzeń. Zestawu czujników, który montowany jest w ogródkach lub na dachach budynków, oraz konsoli, która odbiera sygnał w czasie rzeczywistym, nawet w formie „Rapid Fire” co 2,5 sekundy. Łączność między zestawem czujników, a konsolą umieszczoną wewnątrz budynku jest w większości przypadków bezprzewodowa, a zasięg łączności wynosi średnio do 200 metrów. Może jednak, dzięki retransmiterom, zostać zwiększona do nawet kilku kilometrów. Kluczowym atrybutem jest jednak możliwość podłączenia konsoli pomiarowej do Internetu i publikacja wyników pomiarów (Rys. 2), za pomocą różnego typu rejestratorów (8) (9) (10) (11) oraz oprogramowania (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18), na stronach internetowych, zarówno własnych, jak również podobnych do sieci pomiarowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB).

Dane z jednej lub z wielu amatorskich stacji meteorologicznych stały się w środowisku naukowym od kilkunastu lat coraz cenniejszym źródłem informacji o aktualnym i przeszłym stanie atmosfery.



Rys. 2. Możliwości dystrybucji danych pomiarowych amatorskich stacji meteorologicznych. Opracowanie własne.

Większość amatorskich stacji meteorologicznych wyposażona jest w automatyczne deszczomierze, dzięki którym mierzone są takie parametry jak: wysokość opadu atmosferycznego, natężenie opadu atmosferycznego oraz czas rozpoczęcia, zakończenia i trwania opadu atmosferycznego. To źródło nowych danych stało się dla wielu narodowych służb meteorologicznych i hydrologicznych (NMHS) szansą na nisko kosztowe zagęszczenie sieci deszczomierzy pracujących w sieciach służb meteorologicznych. Tym bardziej, że rozbudowa obecnych sieci obserwacyjno-pomiarowych wiąże się z ogromnymi kosztami zakupu i utrzymania. Pomiary opadu pochodzące z amatorskich stacji meteorologicznych stały się także wyzwaniem dla NMHS. Dlatego w ostatniej dekadzie wiele badań koncentrowało się zarówno na jakości mierzonych parametrów przez amatorskie stacje meteorologiczne (19) (20) (21), jak również wykorzystania ich w analizie klimatu miasta i miejskich wysp ciepła (22) (23) (24) (25) (26), oraz opadu atmosferycznego (27) (28) (29).

Oprócz automatycznych deszczomierzy amatorskich bardzo popularne są już od dłuższego czasu deszczomierze manualne. W Polsce nie ma portalu łączącego społeczność prowadzącą pomiary opadów, ale w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej od roku 1998, a później w Kanadzie i na Archipelagu Wysp Bahama, istnieje duża i stale rosnąca społeczność ochotników w sieci Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network (CoCoRaHS) (30). CoCoRaHS łączy ochotników, którzy wykonują pomiary opadu atmosferycznego za pomocą jednego typu deszczomierza, który w Europie funkcjonuje pod nazwą Stratus.

Deszczomierz ten spełnia wymagania National Weather Service (NWS) w zakresie pomiaru opadu atmosferycznego oraz został wymieniony w katalogu National Standard Precipitation Gauges Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) (31).

### **3. Sieci amatorskich stacji meteorologicznych.**

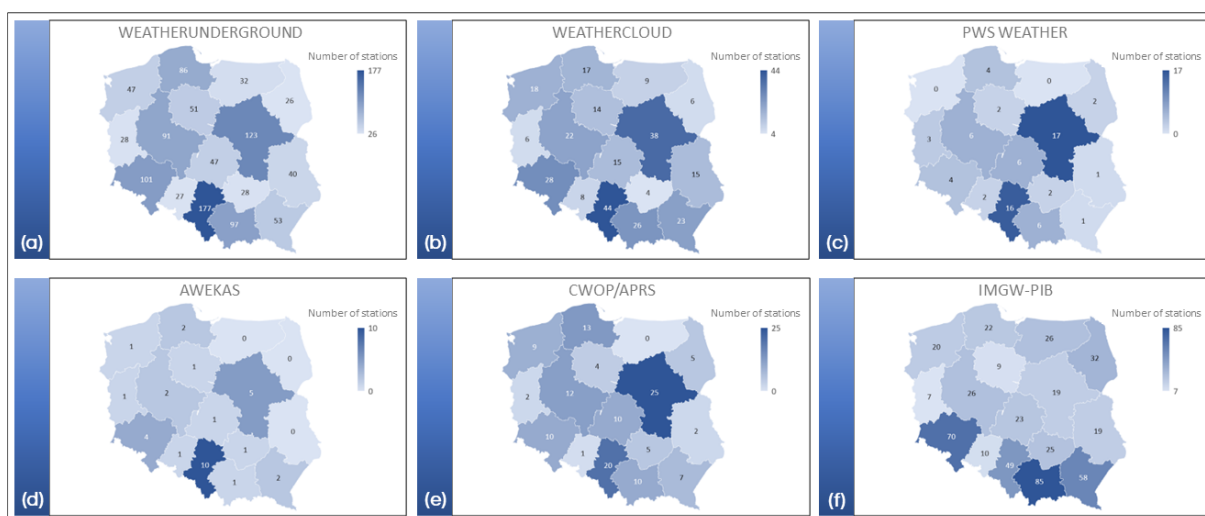
Termin nauka obywatelska (ang. citizen science) po raz pierwszy użyty został w styczniu 1989 roku, kiedy 225 wolontariuszy ze Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej wzięło udział w zbieraniu opadu atmosferycznego, badaniu kwasowości oraz raportowaniu wyników (32). W słowniku języka polskiego termin ten jeszcze nie został dodany, ale można go znaleźć w polskiej wersji Wikipedii (33) i zdefiniowany jest następująco: „badania naukowe, w których wolontariusze współpracują z badaczami zawodowymi, a także (szczególnie od lat 1990.) forma edukacji naukowej, forma współpracy w badaniach naukowych oraz ruch społeczny. Historycznie termin ten odnosi się do naukowców, którzy nie współpracowali z instytucjami naukowymi lub nie posiadali formalnego wykształcenia na poziomie akademickim. Takimi naukowcami byli np. Karol Darwin, Thomas Jefferson oraz Lewis i Clark, jak i wielu innych, ponieważ nauka jaką znamy obecnie, została zinstytucjonalizowana dopiero w XX wieku”.

W ciągu ostatnich dwóch dekad nastąpiła zmiana w powszechnym postrzeganiu kompetencji obywateli do uczestnictwa w obserwacjach i pomiarach środowiska ziemskiego oraz pośrednim i bezpośrednim wpływie na procesy decyzyjne naukowców oraz władz (34). Ta zmiana zbiegła się oczywiście z postępem technologicznym w teleinformatyce (ang. Information and Communications Technology - ICT). Pojawiły się bowiem przyjazne dla użytkownika, niedrogie czujniki, platformy internetowe oraz aplikacje mobilne. Zaowocowało to powstaniem różnorodnych obywatelskich projektów w wielu dziedzinach nauki, w tym meteorologii, astronomii (35) oraz pogody kosmicznej (36).

W przeprowadzonych analizach wykorzystane zostały dane pomiarowe pochodzące z amatorskich sieci meteorologicznych. Są to głównie platformy internetowe, które zbierają, agregują i wizualizują dane pochodzące z amatorskich stacji meteorologicznych. Wiggins i Crowston (37) zdefiniowali pięć rodzajów obywatelskich inicjatyw naukowych i dokonali podziału na następujące kategorie: akcja, ochrona, dochodzenie, wirtualne i edukacja. W oparciu o tę klasyfikację, sieci amatorskich stacji meteorologicznych pasują do opisu inicjatyw dochodzeniowych, ponieważ koncentrują się na celu naukowym (tj. poprawie lokalnych informacji o pogodzie i prognozach), zależą od wkładu obywateli w obserwację

środowiska fizycznego. W sensie geograficznym są to inicjatywy regionalne oraz globalne i w dużym stopniu zależą od przestrzennego rozmieszczenia uczestników. Chociaż wszystkie sieci amatorskich stacji meteorologicznych mieszczą się w tej samej typologii, każda z tych platform ma swój własny zestaw cech, takich jak: zasięg geograficzny, cele, pochodzenie i leżące u podstaw procesy działania.

Analiza ilościowa wykazała, że w Polsce największą siecią amatorskich stacji meteorologicznych jest Weather Underground (38) (Rys. 3a) (Tab. 1), która liczyła 1054 amatorskie stacje meteorologiczne (stan na 02.2020). Drugą co do liczby użytkowników okazała się sieć Weathercloud (39) (Rys. 3b) (Tab. 1) z liczbą 293 stacji. Kolejne to CWOP/APRS (40) (Rys. 3e) (Tab. 1) z liczbą 135 stacji, PWS Weather (41) (Rys. 3c) (Tab. 1) z liczbą 72 stacji oraz AWEKAS (42) (Rys. 3d) (Tab. 1) z liczbą 32 stacji. W sieci Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowym Instytucie Badawczym (IMGW-PIB) w roku 2020 znajdowało się 500 stacji automatycznych. Według danych portalu Weather Underground liczba użytkowników na całym świecie wynosi około 250 tysięcy. Dla porównania wg Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) w globalnym systemie obserwacyjnym działa tylko ponad 11 tysięcy meteorologicznych stacji naziemnych (43).



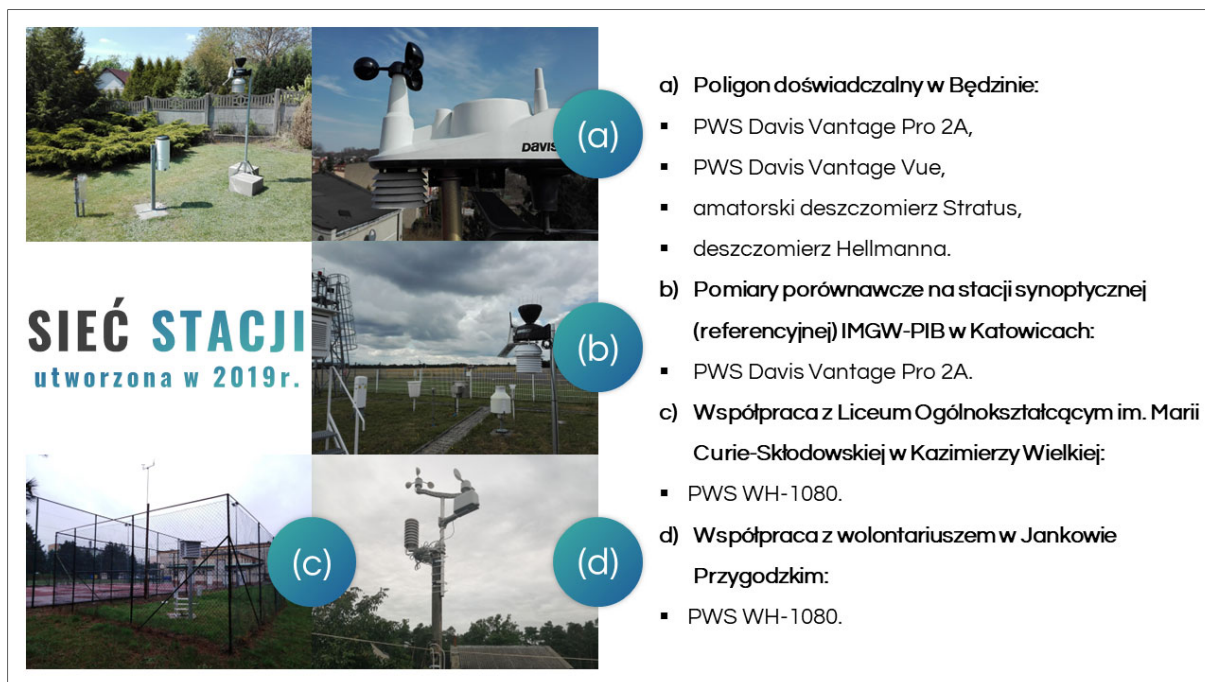
Rys. 3. Liczba amatorskich stacji meteorologicznych w różnych sieciach (a-e) oraz liczba stacji w sieci IMGW-PIB (f). Opracowanie własne.

Platformy internetowe amatorskich stacji meteorologicznych oferują swoim użytkownikom narzędzia zarządzające potrzebne do projektu monitorowania, od niestandardowych pulpitów nawigacyjnych po dynamiczne wykresy, w tym zaawansowane raporty oraz konfigurowalne alarmy i powiadomienia.

Tab. 1. Liczba automatycznych stacji meteorologicznych w poszczególnych sieciach (stan na luty 2020 roku).  
Opracowanie własne.

województwo	WEATHERUNDERGROUND	WEATHERCLOUD	CWOP/APRS	PWS WEATHER	AWEKAS	IWGW-PIB
Dolnośląskie	101	28	10	4	4	70
Kujawsko – pomorskie	51	14	4	2	1	9
Lubelskie	40	15	2	1	0	19
Lubuskie	28	6	2	3	1	7
Łódzkie	47	15	10	6	1	23
Małopolskie	97	26	10	6	1	85
Mazowieckie	123	38	25	17	5	19
Opolskie	27	8	1	2	1	10
Podkarpackie	53	23	7	1	2	58
Podlaskie	26	6	5	2	0	32
Pomorskie	86	17	13	4	2	22
Śląskie	177	44	20	16	10	49
Świętokrzyskie	28	4	5	2	1	25
Warmińsko – mazurskie	32	9	0	0	0	26
Wielkopolskie	91	22	12	6	2	26
Zachodniopomorskie	47	18	9	0	1	20
Polska	1054	293	135	72	32	500

Na potrzeby analizy jakościowej oraz oceny możliwości współpracy z wolontariuszami w roku 2019 stworzono przykładową sieć amatorskich stacji meteorologicznych (Rys. 4), która składała się z siedmiu urządzeń służących do pomiaru stanu atmosfery.



Rys. 4. Sieć amatorskich stacji meteorologicznych: (a) poligon doświadczalny w Będzinie, (b) pomiary porównawcze na stacji synoptycznej IMGW-PIB w Katowicach, (c) ogródek meteorologiczny w Liceum Ogólnokształcącym im. Marii Curie-Skłodowskiej w Kazimierzy Wielkiej, (d) poligon pomiarowy u wolontariusza w Jankowie Przygodzkim. Opracowanie własne.

#### 4. Możliwość oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie pomiarów specjalnych.

Zgodnie z Instrukcją dla stacji meteorologicznych (44) wszystkie czynności służby hydrologiczno-meteorologicznej związane z pomiarami, muszą być realizowane z zachowaniem zasad Meteorologii Prawnej dotyczących:

- warunków prawnych legalizacji narzędzi pomiarowych,
- warunków prawnych uwierzytelnienia ww. narzędzi i sprawdzenia czy ich błędy nie przekraczają dopuszczalnych błędów określonych przez Światową Organizację Meteorologiczną,
- nadzoru metrologicznego.

Zgodnie z założeniami, podstawowe właściwości metrologiczne wszystkich narzędzi pomiarowych dopuszczonych do pracy w programach PSHM muszą być certyfikowane w akredytowanych laboratoriach.

Miernictwo meteorologiczne „in situ” obejmuje również pomiary wielkości nieposiadających wzorców fizycznych ani państwowych, ani międzynarodowych. Należą do



nich pomiary opadu atmosferycznego, usłonecznienia i promieniowania słonecznego, widzialności, wysokości podstawy chmur i wielu innych parametrów. W metrologii tych wielkości celem pierwszoplanowym jest duży stopień zgodności wyników uzyskanych różnymi metodami pomiarowymi oraz urządzeniami o różnych zasadach działania i różnej konstrukcji. W tym celu działanie i wyniki określonych przyrządów i urządzeń pomiarowych ocenia się metodą pomiarów porównawczych w warunkach ich jednolitej, długookresowej ekspozycji w jednorodnym, naturalnym polu fizycznym. Wykorzystywana jest również naturalna, dobowa i sezonowa zmienność pól fizycznych atmosfery.

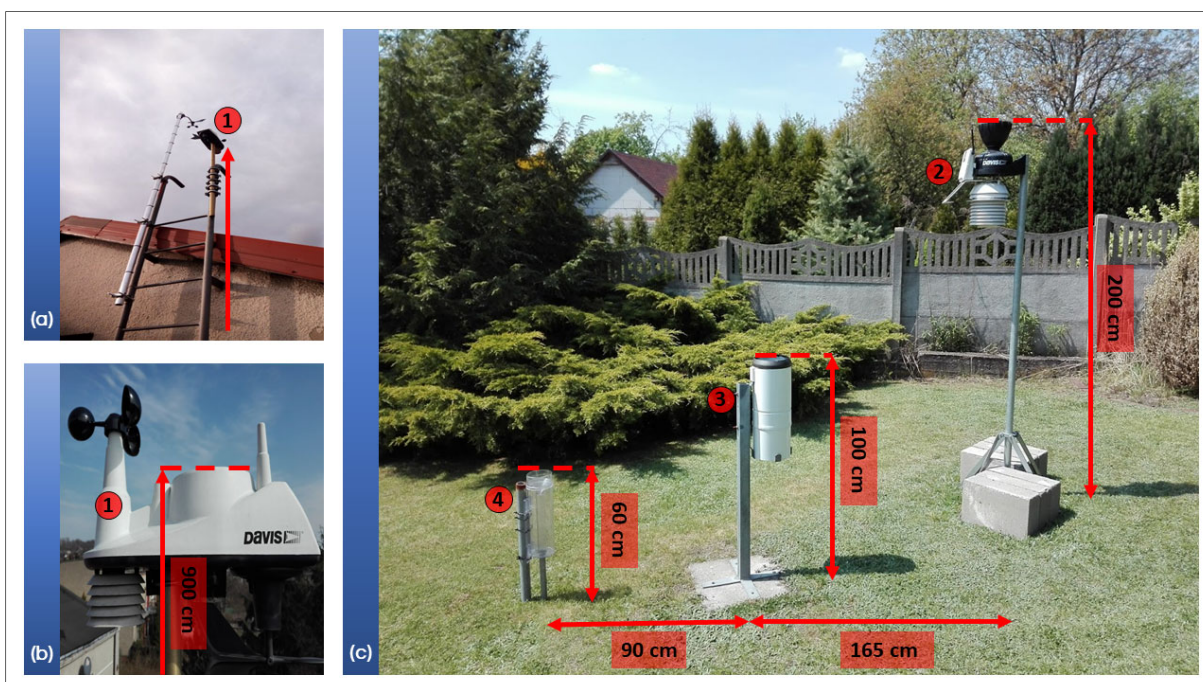
#### **4.1. Porównanie pomiarów opadu atmosferycznego wykonanych wybranymi deszczomierzami amatorskimi z pomiarami deszczomierzem Hellmanna.**

Celem badania było określenie stopnia wiarygodności wyników pomiarów uzyskanych z dwóch automatycznych deszczomierzy amatorskich stacji meteorologicznych oraz jednego manualnego deszczomierza amatorskiego w odniesieniu do wyników otrzymanych z deszczomierza Hellmanna używanego na sieci Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (PSHM) i potraktowanego w tym opracowaniu jako przyrząd wzorcowy. W tym celu utworzono w Będzinie (Rys. 5) poligon doświadczalny (Rys. 6c), na którym zainstalowano automatyczny deszczomierz amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A, manualny deszczomierz amatorski Stratus oraz deszczomierz Hellmanna. Dodatkowo na dachu pobliskiego budynku, w odległości 63 metrów od poligonu doświadczalnego, zainstalowano automatyczny deszczomierz amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Vue (Rys. 6a, b).

Deszczomierz Hellmanna zamontowano w odległości 90 cm od deszczomierza Stratus i w odległości 165 cm od deszczomierza Davis Vantage Pro 2A. W ciągu całego okresu wykonywania pomiarów starano się by powierzchnia terenu poligonu doświadczalnego możliwie najbardziej była zbliżona do stanu naturalnego. W okresie letnim koszone trawę, tak by jej wysokość nie przekraczała 10 - 15 cm. W okresie zimowym śnieg pozostawiano w stanie naturalnym aż do jego zaniku oraz systematycznie czyszczono ze śniegu słupki deszczomierzy. W ciągu całego roku dbano o porządek na terenie poligonu, oczyszczając go z wszelkich zanieczyszczeń nanoszonych przez wiatr. Raz w tygodniu dokonywano przeglądu deszczomierzy by nie dopuścić, aby w urządzeniach gromadził się - pył, błoto, pajęczyny itp.



Rys. 5. Lokalizacja deszczomierzy (a-c): (c) 1 - deszczomierz Davis Vantage Vue, (c) 2 - deszczomierz Davis Vantage Pro 2A, (c) 3 - deszczomierz Hellmanna, (c) 4 - deszczomierz Stratus. Opracowanie własne na podstawie map <https://polska.geoportal2.pl/> i <https://www.google.pl/maps>.



Rys. 6. Usytuowanie deszczomierzy: (a, b) 1 - deszczomierz Davis Vantage Vue, (c) 2 - deszczomierz Davis Vantage Pro 2A, (c) 3 - deszczomierz Hellmanna, (c) 4 - deszczomierz Stratus. Opracowanie własne.

Deszczomierz Hellmanna (Rys. 7e) używany jest przez PSHM na stacjach V rzędu (stacje opadowe). Stacje te stanowią największą liczbę punktów pomiarowych w strukturze sieci stacji pomiarowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowym

Instytucie Badawczym (IMGW-PIB) (44). Powierzchnia wlotu deszczomierza wynosiła 200 cm<sup>2</sup> (Tab. 2).



Rys. 7. Deszczomierze automatyczne z konsolami: (a, b) Davis Vantage Vue, (c, d) Davis Vantage Pro 2A. Deszczomierze manualne z miarkami: (e, f) deszczomierz Hellmanna, (g, h) Stratus. Opracowanie własne.

Deszczomierz Hellmanna składał się następujących części, wykonanych z blachy cynkowej: podstawy, odbiornika, zbiornika, wkładki i pokrywki. Odbiornik deszczomierza zakończony był od góry ostrym pierścieniem wykonanym z mosiądzu. Pierścień od strony wewnętrznej posiadał spadek pionowy, a z zewnątrz był ścięty skośnie. Dno odbiornika miało kształt lejka z otwartą dolną częścią, która wchodziła w szyjkę zbiornika na wodę, ustawionego w obramowaniu na dnie podstawy. Wysokość całego zestawu deszczomierza wynosiła 46 cm. W okresie występowania opadów śniegowych, w celu osłabienia wywiewania śniegu, w odbiorniku deszczomierza umieszczano specjalną wkładkę. Po tym okresie obecność wkładki była niedopuszczalna, bowiem podczas opadów ciekłych zwiększała ona powierzchnię zwilżaną wodą z opadu zaniżając wyniki pomiarów. Deszczomierz zawieszony był na uchwycie, przymocowanym do metalowego słupka. Wystająca nad powierzchnią gruntu wysokość słupka wynosiła zgodnie z procedurą 90 cm. Górny koniec słupka był ostro ścięty od strony południowej, co zapobiegało gromadzeniu się na nim śniegu. Uchwyt deszczomierza zainstalowano od strony północnej na takiej wysokości by górna krawędź mosiężnego pierścienia zbiornika deszczomierza znajdowała się na wysokości 10 cm ponad ostro ściętym końcem słupka, a więc ponad gruntem na wysokości 1 m (Rys. 6c). Powierzchnia wlotu zainstalowanego deszczomierza miała położenie dokładnie poziome. Wysokość opadu mierzono raz na dobę, o godzinie 6:00 UTC, za pomocą miarki (Rys. 7f) zaopatrzonej

w podziałkę, dostosowaną do 200 cm<sup>2</sup> powierzchni wlotu deszczomierza. Na podziałkę odstępów odpowiadające całkowitym milimetrom wysokości opadu rozgraniczone były kreskami długimi, odpowiadającymi 0,5 mm - średnimi, zaś odpowiadającymi 0,1 mm - krótkimi. Zmierzony opad zapisywano w dzienniczku obserwacyjnym z dokładnością do 0,1 mm. Jednorazowym nalaniem wody do miarki można było odmierzyć co najwyżej 10 mm opadu, maksymalny opad mieszczący się w zbiorniku deszczomierza to 64 mm (Tab. 2) a w przypadku przelania zbiornika w podstawie deszczomierza mieściło się maksymalnie 192 mm opadu.

Tab. 2. Specyfikacja deszczomierzy.

Numer stacji	Rodzaj urządzenia	Metoda pomiarowa deszczomierza	Powierzchnia wlotu deszczomierza	Dzienny zakres pomiaru	Rozdzielczość pomiaru	Dokładność pomiaru
1	Davis Vantage Vue	korytko wywrotne (automat)	<b>116 cm<sup>2</sup></b>	0 - 999,7 mm	<b>0,2 mm</b>	4%
2	Davis Vantage Pro2 A	korytko wywrotne (automat)	<b>214 cm<sup>2</sup></b>	0 - 999,8 mm	<b>0,2 mm</b>	3%
3	Deszczomierz Hellmanna	manualna	<b>200 cm<sup>2</sup></b>	<b>0 - 64 mm</b> <b>0 - 192 mm</b>	<b>0,1 mm</b>	zależna od obserwatora
4	Stratus	manualna	<b>78,5 cm<sup>2</sup></b>	<b>0 - 25 mm</b> <b>0 - 266 mm</b>	<b>0,2 mm</b> <b>(możliwe 0,1 mm)</b>	zależna od obserwatora

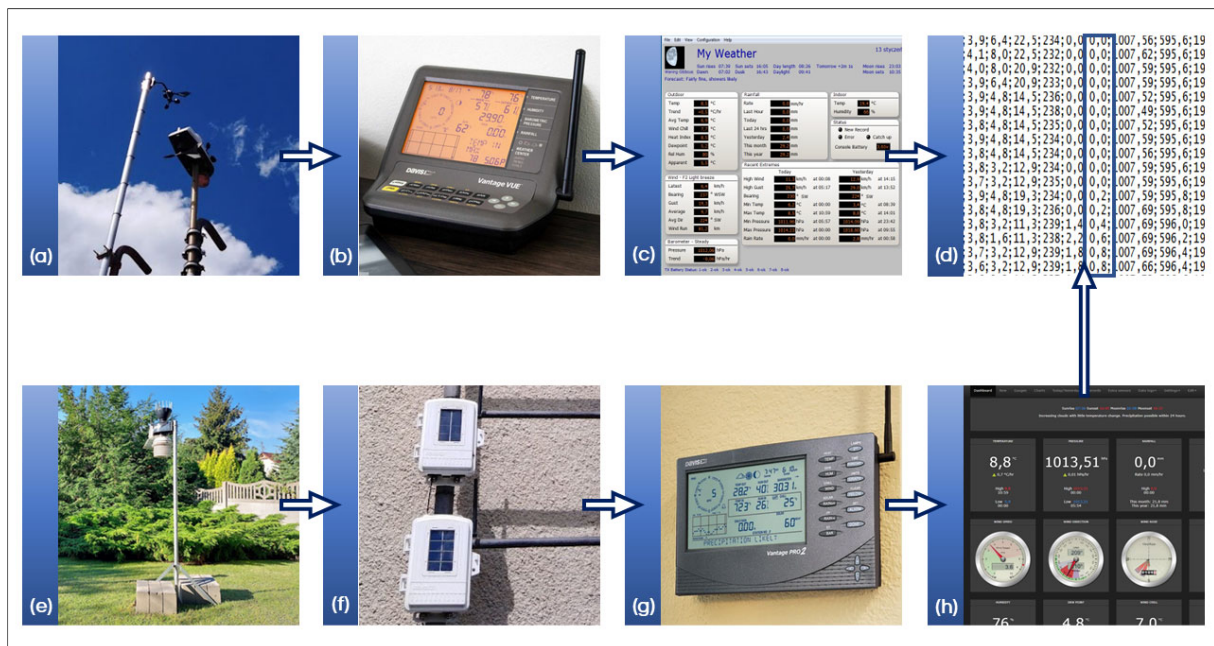
Czcionką pogrubioną podano wartości zmierzone w czasie badań. Pozostałe wartości pochodzą ze specyfikacji technicznej przyrządów pomiarowych.

Manualny deszczomierz amatorski Stratus (Rys. 7g) to konstrukcja używana przez amatorskich obserwatorów na całym świecie. To także deszczomierz używany w ochotniczej sieci obserwatorów pogody Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network (CoCoRaHS) (30). Przyrząd składał się z następujących części, wykonanych z wysokiej jakości plastiku (metakrylan): podstawy, odbiornika, wyskalowanego zbiornika, który był jednocześnie miarką do mierzenia wysokości opadu oraz uchwytu. Odbiornik deszczomierza zakończony był od góry ostrym zakończeniem z plastiku a powierzchnia wlotu wynosiła 78,5 cm<sup>2</sup> (Tab. 2). Od strony wewnętrznej zakończenie odbiornika miało spadek pionowy, a z zewnątrz było skośnie ścięte. Dno odbiornika wykonane było w kształcie lejka, którego dolna część była otwarta i wchodziła w miarkę, która ustawiona była w obramowaniu na dnie podstawy. Wysokość zestawionego deszczomierza wynosiła 35 cm. W okresie występowania opadów

śniegowych z deszczomierza usuwany był odbiornik oraz miarka by śnieg trafiał bezpośrednio do odbiornika. Deszczomierz zawieszono na uchwycie, przymocowanym do metalowego słupka o wysokości 54 cm. Uchwyt przymocowano do słupka od strony północnej a górna krawędź plastikowego pierścienia deszczomierza znajdowała się 4 cm ponad końcem słupka, a więc ponad gruntem na wysokości 60 cm (Rys. 6c). Powierzchnia wlotu miała dokładnie położenie poziome, co sprawdzono poziomą przy instalacji deszczomierza. Wykonując pomiar zwracano uwagę, aby wyskalowany zbiornik był należycie ustawiony w obramowaniu na dnie podstawy, a podstawa była dobrze nasadzona na uchwyt. Wysokość opadu mierzono raz na dobę o godzinie 6:00 UTC wyłącznie miarką (Rys. 7h), która wchodziła w skład całego zestawu. Miarka zaopatrzona była w podziałkę, dostosowaną do powierzchni wlotu deszczomierza. Na podziałce odstępy odpowiadające całkowitym milimetrom wysokości opadu rozgraniczne były kreskami długimi, zaś odpowiadające 0,2 mm - krótkimi. Zmierzony opad zapisywano w dzienniczku obserwacyjnym z dokładnością do 0,1 mm - pomimo skali 0,2 mm. Maksymalny opad mieszczący się w miarce to 25 mm (Tab. 2) a w przypadku przelania miarki w podstawie deszczomierza mieściło się maksymalnie 266 mm opadu.

Stacja Davis Vantage Vue to zestaw zintegrowanych czujników, w skład których wchodzi czujnik temperatury powietrza, czujnik wilgotności powietrza, wiatromierz oraz deszczomierz. Cały zestaw zamontowany został na metalowej rurce, 1,5 m nad powierzchnią dachu (Rys. 6a) w 2014 roku. Górna krawędź plastikowego pierścienia deszczomierza znajdowała się 900 cm ponad gruntem (Rys. 6b). Odbiornik deszczomierza zakończony był od góry ostrym zakończeniem z plastiku. Powierzchnia wlotu wynosiła 116 cm<sup>2</sup> (Tab. 2). Zarówno od strony wewnętrznej jak i zewnętrznej odbiornik był skośnie ścięty. Dno odbiornika wykonane było w kształcie lejka, którego dolna część była otwarta, zabezpieczona klipssem służącym wychwytywaniu śmieci. Pod otworem znajdowało się jednokomorowe korytko wywrotne (Rys. 7a), odmierzające 0,2 mm opadu (Tab. 2). Do korytka przymocowany był magnes, który przesuwał się w kierunku przełącznika magnetycznego (kontaktronu). W wyniku oddziaływania pola magnetycznego następowało zwarcie elektrod przełącznika pomiarowego, zamykając obwód elektryczny. Zwarcie notowane było przez rejestrator. Dane o impulsie wysyłane były bezprzewodowo do konsoli rejestrującej opad (Rys. 8b). Konsola wyposażona była w data logger, a interwał zapisu danych wynosił 5 minut. W tej konfiguracji rejestrator nie podłączony do komputera pozwalał na zapisanie 2560 rekordów, co dawało około 8 dni pomiarów. Konsola z data loggerem przez cały czas wykonywania pomiarów podłączona była za pomocą kabla USB do komputera, gdzie poprzez program Cumulus 2 (Rys. 8c), dane

zapisywane były z częstotliwością 5 minut do pliku tekstowego. Zestaw czujników stacji Davis Vantage Vue zasilany był panelem słonecznym, akumulatorem oraz baterią CR-123 a dzienny zakres pomiaru opadu ciekłego wg producenta wynosił maksymalnie 999,7 mm (45).



Rys. 8. Schemat przesyłania danych: (a) stacja Davis Vantage Vue, (b) konsola do odbioru danych, (c) program Cumulus 2 do prezentacji i zapisu danych, (d) schemat zapisu danych, (e) stacja Davis Vantage Pro 2A, (f) retransmitter, (g) konsola do odbioru danych, (h) program Cumulus MX. Opracowanie własne.

Davis Vantage Pro 2A to bardzo popularna stacja amatorska w Polsce i na świecie. Model ten często wykorzystywany jest w rolnictwie, przemyśle, ochronie środowiska, dydaktyce oraz w badaniach naukowych. W skład stacji wchodził zestaw zintegrowanych czujników: temperatury powietrza, wilgotności powietrza oraz deszczomierz. Wiatromierz mógł być odseparowany od stacji i dokonywać pomiaru na innej wysokości. Deszczomierz zamontowano na metalowej rurce o wysokości 188 cm nad powierzchnią gruntu. Górna krawędź deszczomierza znajdowała się na wysokości 200 cm (Rys. 6c). Deszczomierz składał się z dwóch wykonanych z plastiku części: odbiornika oraz bazy (Rys. 7c). Odbiornik deszczomierza zakończony był od góry ostrym zakończeniem, obok którego na części zewnętrznej zamontowane były metalowe szpilki uniemożliwiające siadanie na nim ptaków generujących zabrudzenia (pióra, odchody). Powierzchnia wlotu wynosiła 214 cm<sup>2</sup> (Tab. 2). Dno odbiornika wykonane było w kształcie lejka, którego dolna część była otwarta, zabezpieczona wymowanym sitkiem służącym wychwytywaniu śmieci. Pod otworem znajdowało się dwukomorowe korytko wywrotne (Rys. 7c), odmierzające 0,2 mm opadu (Tab. 2). Konstrukcja korytka wywrotnego, znajdującego się w bazie deszczomierza, oparta

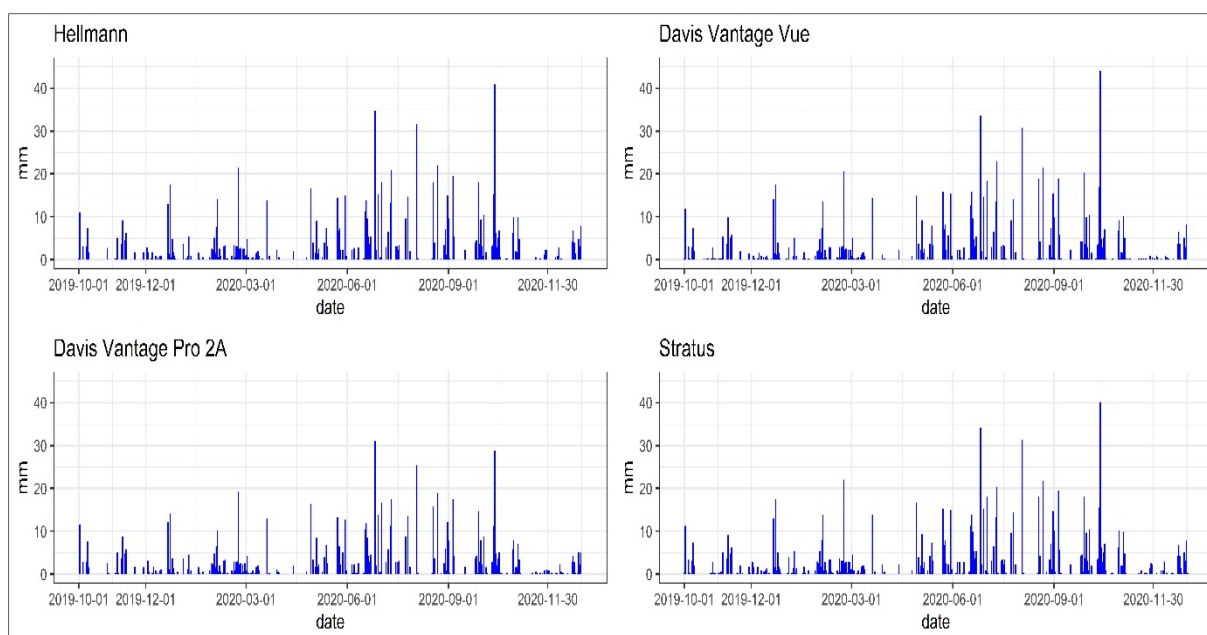
była tu na zasadzie wagi szalkowej. Przyrząd składał się dwóch bliźniaczych, otwartych komór metalowych, spoczywających na wspólnym łożysku. Ponad komorami (w pionowej osi symetrii) umieszczony był wylot lejka odbiornika deszczomierza. Puste korytko miało dwa położenia spoczynkowe; przechylone w lewo lub w prawo (korytko podczas przechylania wykonuje obrót wokół osi obrotu, aż do wystąpienia oporu), w którym każda z komór była podstawiana na przemian pod wylot lejka. Ponieważ środek ciężkości każdej z napełnianych komór wykraczał poza punkt podparcia, powstawał moment obrotowy i korytko wywracało się, kiedy tylko zostało wypełnione określoną ilością opadu (0,2 mm). Woda z komory zostawała przelana do lejków ściekowych bazy deszczomierza, skąd wylewana była do otoczenia. W tym samym czasie pod wylot lejka była podstawiana druga komora. Podczas każdego wywrotu korytka w skojarzonym obwodzie elektrycznym wyzwalany był impuls o odpowiednich parametrach. Suma impulsów zliczonych w czasie zjawiska opadowego umożliwia obliczenie wysokości opadu, a ta odniesiona do czasu trwania dawała natężenie opadu. Dane bezprzewodowo przesyłane były następnie poprzez retransmiter (Rys. 8f) do konsoli rejestrującej opad (Rys. 8g). Konsola wyposażona była w data logger z interwałem zapisu danych co 5 minut. Konsola z data loggerem podłączona była za pomocą kabla USB do komputera, gdzie poprzez program Cumulus MX (Rys. 8h), dane zapisywane były w postaci pliku tekstowego. Zestaw czujników zasilany był panelem słonecznym, akumulatorem oraz baterią CR-123. Dzienny zakres pomiaru opadu ciekłego wg producenta wynosił maksymalnie 999,8 mm (2).

Pomiary porównawcze wykonywane były od 1 października 2019 roku do 31 grudnia 2020 roku na poligonie doświadczalnym w Będzinie - Grodźcu. Sumy dobowe opadu atmosferycznego deszczomierza Hellmanna i Stratus były sumami pomiędzy godziną 6:00 UTC dnia poprzedniego i 6:00 UTC dnia bieżącego. Oprogramowanie stacji automatycznych Davis Vantage Vue oraz Davis Vantage Pro 2A zapisywało dane w odstępach 5-minutowych i sumowało ilość opadu dobowego, który wystąpił pomiędzy godziną 0:00 a 24:00. Sumy dobowe ze stacji automatycznych przeliczono tak, aby obejmowały okres taki jak w przypadku sum dobowych deszczomierzy manualnych. Analizie poddano 461 sum pomiarów dobowych.

Analizy statystyczne wykonano za pomocą pakietu statystycznego R 4.0.2. Surowe dane przedstawiono w tabeli (Tab. 3) oraz na wykresie (Rys. 9), natomiast statystyki opisowe i podstawowe relacje pomiędzy pomiarami z badanych instrumentów amatorskich, a pomiarem wykonanym deszczomierzem Hellmanna przedstawiono w tabeli (Tab. 4).

Tab. 3. Porównanie miesięcznych sum opadów atmosferycznych (w mm). Opracowanie własne.

Miesiąc, rok	Deszczomierz Hellmanna	Deszczomierz Davis Vantage Vue	Deszczomierz Davis Vantage Pro2 A	Deszczomierz Stratus
X.2019	29,8	32,0	29,4	31,1
XI.2019	33,2	34,2	32,2	35,6
XII.2019	50,0	46,4	42,6	52,8
I.2020	19,2	17,2	18,4	23,0
II.2020	83,9	77,6	74,2	87,8
III.2020	31,2	29,2	29,2	32,5
IV.2020	19,1	18,0	19,0	19,9
V.2020	82,6	91,0	78,8	86,9
VI.2020	109,8	110,8	98,0	111,1
VII.2020	101,1	100,6	87,6	101,9
VIII.2020	103,2	103,4	86,2	103,6
IX.2020	77,7	80,0	65,8	79,3
X.2020	117,0	120,8	89,2	118,7
XI.2020	25,3	22,0	18,4	27,2
XII.2020	37,6	35,0	28,8	39,3
X - XII.2019	113,0	112,6	104,2	119,5
I - XII.2020	807,7	805,6	693,6	831,2
suma	920,7	918,2	797,8	950,7



Rys. 9. Rozkład w czasie pomiarów atmosferycznych z analizowanych deszczomierzy. Opracowanie własne.



Tab. 4. Statystyki opisowe dla pomiarów opadów atmosferycznych. Opracowanie własne.

Deszczomierz	M	SD	Min	Q <sub>1</sub>	Me	Q <sub>3</sub>	Max	P(zero)	MSE	MAE	P
Hellmanna	4,45	6,24	0,1	0,5	2,3	5,20	40,9	0,55			
Davis Vantage Vue	4,39	6,40	0,2	0,4	2,0	5,20	44,0	0,54	0,27	0,22	0,90
Davis Vantage Pro2 A	3,91	5,24	0,2	0,6	2,1	4,65	31,0	0,55	1,00	0,37	0,89
Stratus	4,21	6,01	0,1	0,5	2,1	4,80	40,2	0,51	0,02	0,08	0,97

M - średnia, SD - odchylenie standardowe, Min - minimum, Q<sub>1</sub> - pierwszy kwartyl, Me - mediana (drugi kwartyl), Q<sub>3</sub> - trzeci kwartyl, Max - maximum, P(zero) - proporcja dni bezdeszczowych, MSE - średni kwadrat błędu, MAE - średni błąd bezwzględny, ρ - współczynnik korelacji ρ Spearmana. Błąd w MSE i MAE odnosił się do różnicy pomiędzy pomiarem wykonanym deszczomierzem Hellmanna a pomiarem z danego instrumentu amatorskiego.

Z analizy statystycznej (średnia i odchylenie standardowe) wynika, że największe różnice pomiędzy pomiarami wykonanymi deszczomierzem amatorskim oraz deszczomierzem Hellmanna stwierdzono dla deszczomierza Davis Vantage Pro 2A. Wartości nieparametrycznego współczynnika korelacji ρ Spearmana wskazywały natomiast, że to pomiary wykonane deszczomierzem Stratus były najsilniej skorelowane z pomiarami wykonanymi deszczomierzem Hellmanna.

W celu wstępnego oszacowania różnic w pomiarach pomiędzy deszczomierzami amatorskimi, a deszczomierzem Hellmanna zastosowano błąd średniokwadratowy (MSE) oraz średni błąd bezwzględny (MAE), zdefiniowane jako:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2, \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i|, \quad (2)$$

gdzie n to liczba pomiarów, y<sub>i</sub> to i-ty pomiar z deszczomierza Hellmanna oraz x<sub>i</sub> to i-ty pomiar z deszczomierza amatorskiego. Parametry statystyczne wykazały, że najmniejszym błędem pomiaru, względem pomiaru z deszczomierza Hellmanna, charakteryzował się deszczomierz Stratus.

### 4.1.1. Modelowanie.

W celu formalnego i bardziej szczegółowego przedstawienia różnic w pomiarach pomiędzy deszczomierzami amatorskimi a deszczomierzem Hellmanna, w kolejnym kroku wykonano analizę za pomocą modelu regresji liniowej. W sekcji 4.1.1.1 prezentowana jest ogólna postać testowanych modeli. W sekcji 4.1.1.2 zwięźle opisywana jest procedura estymacji parametrów modeli oraz metoda porównawcza dopasowania modeli do danych. Dzięki porównaniu modeli, w których predyktory stanowią pomiary z deszczomierzy amatorskich w sekcji 4.1.1.3 wskazywany jest deszczomierz, którego pomiary są najsilniej związane z pomiarami z deszczomierzem Hellmanna oraz testowana jest zależność błędów pomiaru od wybranych okresów pomiarowych.

#### 4.1.1.1. Opis modeli.

Relacje pomiędzy pomiarem z deszczomierza Hellmanna  $Y$ , a pomiarem z deszczomierza amatorskiego  $X$  można opisać za pomocą równania regresji liniowej:

$$\begin{aligned}y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i, \\ \epsilon_i &\sim N(0, \sigma),\end{aligned}\tag{3}$$

gdzie  $\beta_0$  to stała, która w przypadku wycentrowanego predyktora  $x_i$  (czyli po odjęciu średniej wartości z  $X$  do każdej wartości  $x_i$ ) reprezentuje oczekiwaną średnią wartości  $Y$  dla średniej wartości  $X$ . Współczynnik  $\beta_1$  to siła relacji pomiędzy  $Y$  i  $X$  oraz przewidywana zmiana w wartości  $y$ , po zmianie w wartości  $x$  o jedną jednostkę (czyli o 1 mm). W końcu parametr  $\sigma$  to odchylenie standardowe błędu predykcji  $\epsilon$ , które w niniejszej aplikacji można interpretować jako średni błąd predykcji wartości  $Y$  przewidywanych z wartości  $X$ . Mniejsze wartości  $\sigma$  wskazują, że pomiary z deszczomierza  $X$  są bliższe pomiarom z deszczomierza Hellmanna.

W celu przetestowania, czy średni błąd pomiaru może być zależny od okresu pomiarowego  $G$ , model z równania 3 można rozszerzyć o założenie o zależności błędu predykcji od okresu pomiarowego  $G$ :

$$\log(\epsilon_i) = \sigma_0 + \sigma_1 G_i,\tag{4}$$

Gdzie  $G_i$  to macierz kontrastów ortogonalnych (ze średnią 0) kodującą do którego okresu pomiarowego należy  $i$ -ta obserwacja,  $\sigma_0$  to parametr reprezentujący średni błąd predykcji a  $\sigma_1$  to wektor parametrów (po jednym na każdą kolumnę w  $G$ ), których wartości (w uproszczeniu) reprezentują różnice pomiędzy średnim błędem predykcji  $\sigma_0$  a danym okresem pomiarowym.

W końcu możliwa jest również zależność błędu pomiaru od wielkości opadów danego dnia. W celu przetestowania czy błąd pomiaru może zmienić się proporcjonalnie do wielkości opadów model z równania 3 można uzupełnić o komponent:

$$\log(\epsilon_i) = \sigma_0 + \sigma_1 x_i. \quad (5)$$

W modelu 5 interpretacja  $\sigma_0$  jest analogiczna, jak w modelu 4 (przy utrzymaniu, że średnia  $x_i$  jest równa zero), natomiast  $\sigma_1$  reprezentuje przewidywaną zmianę błędu predykcji na skali logarytmicznej, dla zmiany o jedną jednostkę w  $x_i$ .

#### 4.1.1.2. Estymacja i porównanie modeli.

Estymacja parametrów modeli wykonana została w ujęciu Bayesowskim za pomocą pakietu `brms` (46) (47). W analizie Bayesowskiej estymacji podlega rozkład prawdopodobieństwa, a posteriori parametrów modelu (np. błędu predykcji  $\sigma$ ), wyliczany za pomocą integracji wiarygodności (ang. likelihood) oraz rozkładu a priori. W niniejszych analizach wykorzystane zostały słabo informacyjne rozkłady a priori mające uzasadnienie w danych (48). Wnioskowanie o statystycznej wiarygodności parametru (np. różnicy pomiędzy pomiarami) wykonuje się poprzez wyliczenie średniej na 95% poziomie ufności (ang. credible interval, CI). Statystycznie wiarygodny efekt to taki, dla którego 95% CI nie zawiera zera (49) (50). W pakiecie `brms` estymacja rozkładów a posteriori wykonywana jest za pomocą algorytmu próbkującego zaimplementowanego w języku STAN (51). Parametry procedury próbkowania dobrano w sposób zapewniający bardzo dobrą aproksymację rozkładu a posteriori.

Ponieważ każdy z estymowanych modeli dopasowano do danych tej samej zmiennej zależnej  $Y$  (pomiarów deszczomierzem Hellmanna), możliwe jest porównanie mocy predykcyjnej zarówno pomiarów ze stacji amatorskich, jak i założeń odnośnie do zależności błędu predykcji od dodatkowych czujników. Jedną z najlepszych metod porównania mocy predykcyjnej modeli jest statystyka LOOIC (ang. leave-one-out information criterion) (52). Statystyka LOOIC wyliczona jest w oparciu o procedurę walidacji krzyżowej i reprezentuje estymowaną moc predykcyjną modelu dla nowych danych. Ponieważ LOOIC zależy od liczby obserwacji, wartości bezwzględne statystyki nie mają bezpośredniej interakcji. W kontekście porównywania modeli, różnica w wartościach LOOIC pomiędzy dwoma modelami  $\Delta\text{LOOIC}$  jest istotna statystycznie, gdy przekracza ona dwukrotność błędu standardowego tej różnicy  $\text{SE}\Delta\text{LOOIC}$ . Niższe wartości LOOIC świadczą o modelu lepiej dopasowanym do danych,

### 4.1.1.3. Porównanie mocy predykcyjnej deszczomierzy amatorskich.

Pomiary opadów każdego z amatorskich deszczomierzy stanowiły predyktor dla pomiarów z deszczomierza Hellmanna w pięciu różnych modelach. Pierwszy model stanowił najprostszy model z równania 3. Kolejne trzy modele oparte były o model 3 z dodatkowym komponentem z równania 4, w którym jako okres pomiarowy testowano porę roku (S), miesiąc (M) lub półrocze (HY). Ostatni model stanowił model 3 z komponentem z równania 5.

Rezultaty porównania, dopasowania do danych każdego z modeli przedstawiono w tabeli (Tab. 5). Odnotowano, że dla każdego z deszczomierzy amatorskich, modele 4 zakładające różnice w średnim błędzie predykcji w zależności od okresu pomiarowego, nie były lepiej dopasowane do danych niż najprostszy model. Oznacza to, że dla żadnego z amatorskich deszczomierzy błąd predykcji nie był zależny od żadnego z testowanych okresów pomiarowych. Model 5 okazał się natomiast najlepszy dla każdego z amatorskich deszczomierzy, na co wskazują istotnie statystycznie niższe wartości LOOIC, względem modelu 3.

Tab. 5. Porównanie mocy predykcyjnej modeli. Opracowanie własne.

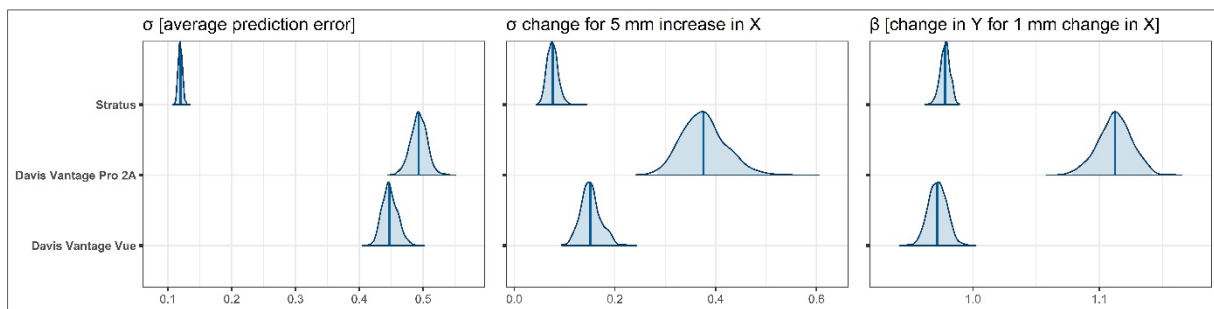
	Model	LOOIC	SE	$\Delta$ LOOIC	$SE_{\Delta LOOIC}$	LOO R <sup>2</sup>
Davis Vantage Vue	3	688,7	89,8	0,0	0,0	
	4 [S]	716,2	114,4	-27,5	45,3	
	4 [M]	1163,9	457,6	-475,3	431,8	
	4 [MY]	700,2	92,5	-11,5	4,5	
	5	<b>583,0</b>	<b>115,9</b>	<b>105,6</b>	<b>49,9</b>	<b>0,989</b>
Davis Vantage Pro2 A	3	992,3	169,5	0,0	0,0	
	4 [S]	1073,9	221,9	-81,5	67,9	
	4 [M]	1351,3	451,3	-359,0	403,6	
	4 [MY]	974,1	160,6	18,2	43,9	
	5	<b>675,2</b>	<b>119,3</b>	<b>317,2</b>	<b>169,4</b>	<b>0,977</b>
Stratus	3	-500,2	52,4	0,0	0,0	
	4 [S]	-496,8	54,7	-3,4	11,1	
	4 [M]	-500,0	55,1	-0,2	22,7	
	4 [MY]	-495,7	53,1	-4,5	1,8	
	5	<b>-639,2</b>	<b>53,4</b>	<b>139,0</b>	<b>42,6</b>	<b>0,998</b>

$\Delta$ LOOIC - różnica w LOOIC względem modelu 3,  $SE_{\Delta LOOIC}$  - błąd standardowy  $\Delta$ LOOIC, LOO R<sup>2</sup> - skorygowane o LOOIC R<sup>2</sup>. Pogrubiłe są różnice istotne statystycznie.

Porównanie LOOIC pomiędzy deszczomierzami jednoznacznie wskazuje, że to instrument Stratus charakteryzował się znacznie niższym błędem predykcji niż instrument Davis Vantage Vue,  $\Delta$ LOOIC ( $SE_{\Delta LOOIC}$ ) = 1222,2 (125,4) oraz Davis Vantage Pro 2A,  $\Delta$ LOOIC ( $SE_{\Delta LOOIC}$ ) = 1314,4 (127,4).

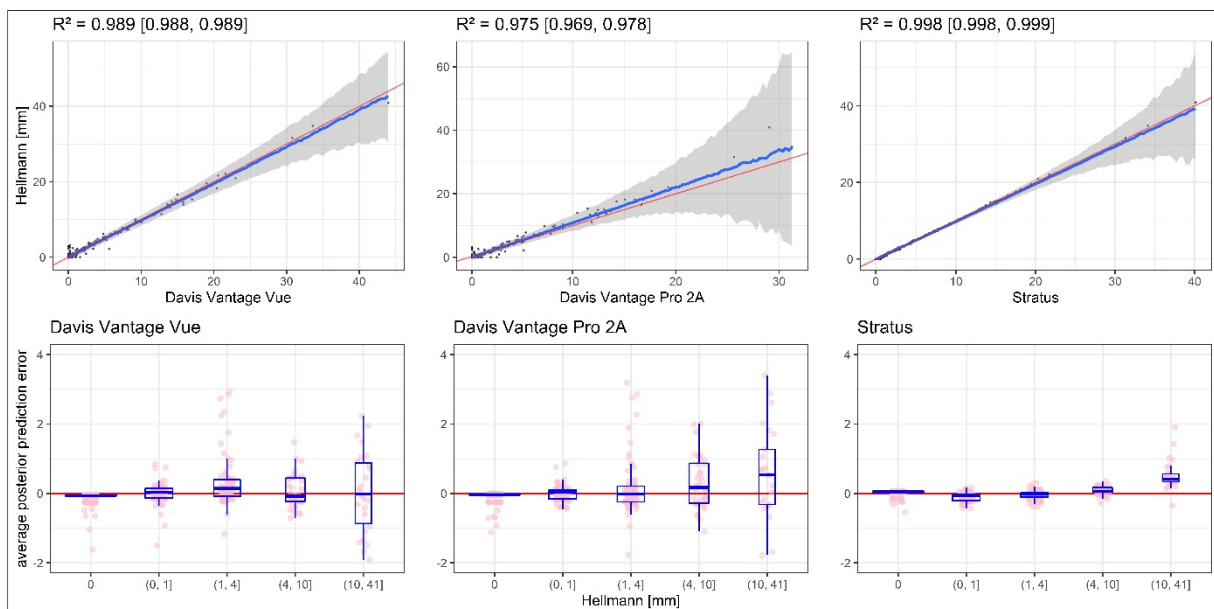
#### 4.1.2. Porównanie parametrów.

Rozkłady a posteriori parametrów najlepiej dopasowanych modeli przedstawiono na wykresie (Rys. 10). Zgodnie z rezultatami analizy w oparciu o LOOIC, przeciętne wartości rozkładu a posteriori parametru  $\sigma_0$  dla deszczomierza Stratus,  $\sigma_0 = |0,1|$ , 95% CI:[0,07, 0,13], były znacznie niższe niż dla pozostałych dwóch deszczomierzy amatorskich. Dodatkowo, dla tego deszczomierza parametr zależności błędu predykcji od opadów  $\sigma_1$  był najniższy, a parametr siły relacji pomiędzy pomiarami  $\beta_1$  był najbliższy wartości idealnej 1 mm.



Rys. 10. Rozkłady a posteriori najważniejszych parametrów najlepiej dopasowanych modeli. Opracowanie własne.

Zależności pomiędzy pomiarami amatorskimi i pomiarem deszczomierzem Hellmanna oraz przewidywania najlepiej dopasowanych modeli przedstawiono na rysunku (Rys. 11).



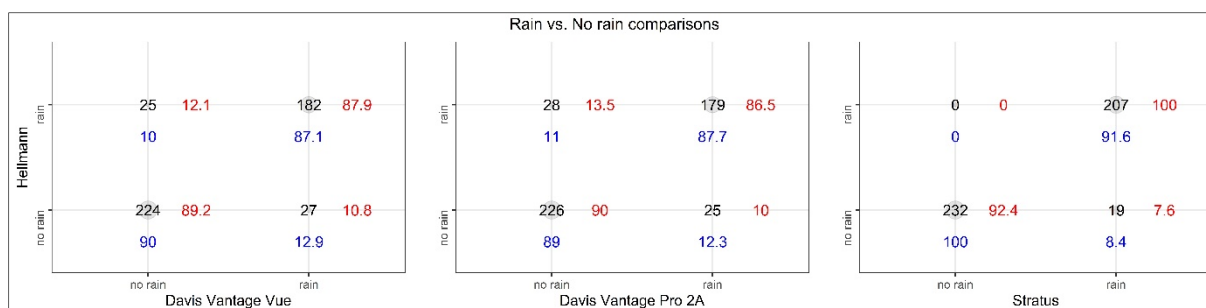
Rys. 11. Predykcje pomiarów z deszczomierza Hellmanna w oparciu o najlepiej dopasowane modele dla każdego z amatorskich deszczomierzy. Górne wykresy pokazują rozrzut wyników, gdzie szary punkt to jedna obserwacja, niebieska linia to komponent liniowy modelu regresji a szary obszar to 95% przedział wiarygodności predykcji modelu. Czerwona linia to oś referencyjna. Dolne panele prezentują średnie (z rozkładów a posteriori) błędy predykcji (różowe punkty, w mm), zgrupowane dla wybranych przedziałów wielkości opadów. Niebieskie

skrzynki prezentują standardowe wykresy skrzynkowe. Czerwona linia pokazuje błąd predykcji równy zero. Opracowanie własne.

Wykresy (Rys. 11) wyraźnie prezentują bardzo dużą zależność błędu predykcji deszczomierza Davis Vantage Pro 2A od wielkości opadu. Davis Vantage Vue i Davis Vantage Pro 2A szczególnie źle rejestrowały opady, gdy pomiar deszczomierzem Hellmanna notował wartości z zakresu powyżej 1 mm. Dla relacji pomiędzy pomiarami z deszczomierza Stratus i Hellmanna odnotowano predykcję o najmniejszych i względnie stabilnych wartościach bezwzględnych błędów. Znaczący wzrost w błędach predykcji dla deszczomierza Stratus odnotowano dopiero dla opadów powyżej 10 mm według pomiaru z deszczomierza Hellmanna.

Największa, dobowa różnica opadu atmosferycznego zmierzonego deszczomierzem Stratus w porównaniu do pomiaru deszczomierzem Hellmanna wyniosła 0,7 mm. Dla deszczomierza Davis Vantage Vue wyniosła 3,4 mm, a deszczomierza Davis Vantage Pro 2A wyniosła 12,1 mm. Porównanie różnic miesięcznych sum opadu atmosferycznego (Tab. 3) wykazało podobne zależności. W tym przypadku również najmniejsze różnice względem deszczomierza Hellmanna wykazywał deszczomierz Stratus, następnie Davis Vantage Vue i Davis Vantage Pro 2A. Porównując sumy opadu atmosferycznego z całego okresu badań sytuacja była odmienna. Najlepiej sumę opadu zarejestrował deszczomierz Davis Vantage Vue (- 2,5 mm), następnie Stratus (+30,0 mm) i Davis Vantage Pro 2A (-122,9 mm).

Porównanie dni deszczowych i bezdeszczowych (Rys. 12) wykazało, iż opad atmosferyczny najlepiej rejestrowany był przez deszczomierz Stratus. Za każdym razem, gdy deszczomierz Hellmanna rejestrował opad, deszczomierz Stratus także go rejestrował. Kiedy jednak deszczomierz Stratus wykazywał deszcz, to deszczomierz Hellmanna wykazywał deszcz już tylko w 91,6% przypadków. Gorsze wyniki odnotowały deszczomierze automatyczne.



Rys. 12. Porównanie dni deszczowych i bezdeszczowych w zestawieniach krzyżowych. Czarne liczby to częstości, czerwone to procenty sumujące się do 100 w wierszach, a niebieskie to procenty sumujące się do 100 w kolumnach. Opracowanie własne.

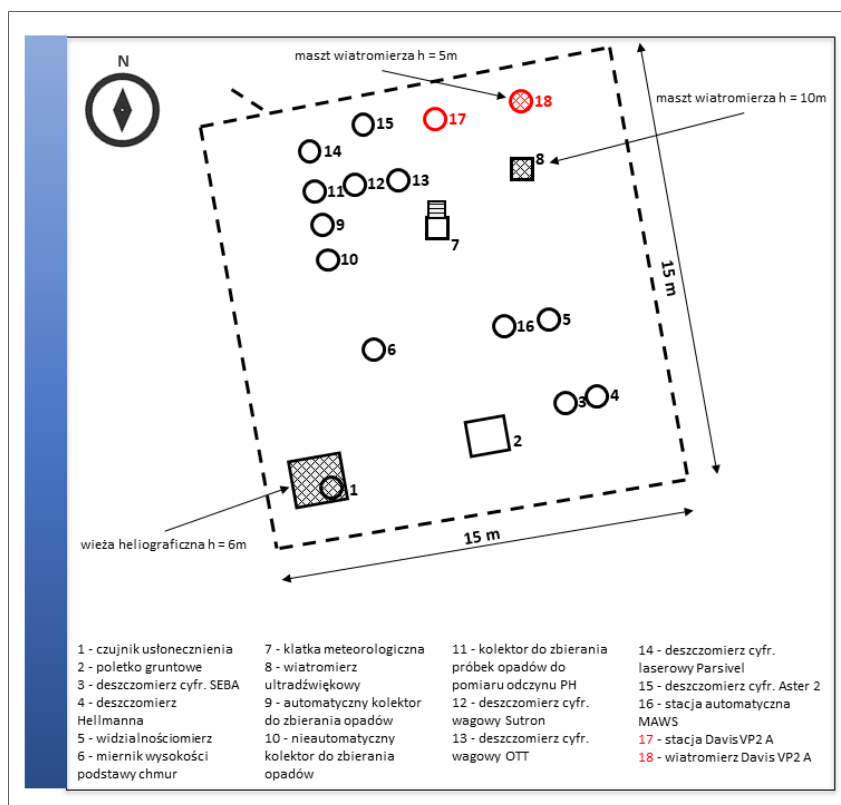
## 4.2. Porównanie pomiarów temperatury powietrza, wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego, prędkości, porywu i kierunku wiatru.

Celem badania było określenie stopnia wiarygodności wyników pomiarów uzyskanych z amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A w odniesieniu do wyników pomiarów przyrządów na stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec (Rys. 13) będącymi przyrządami referencyjnymi.

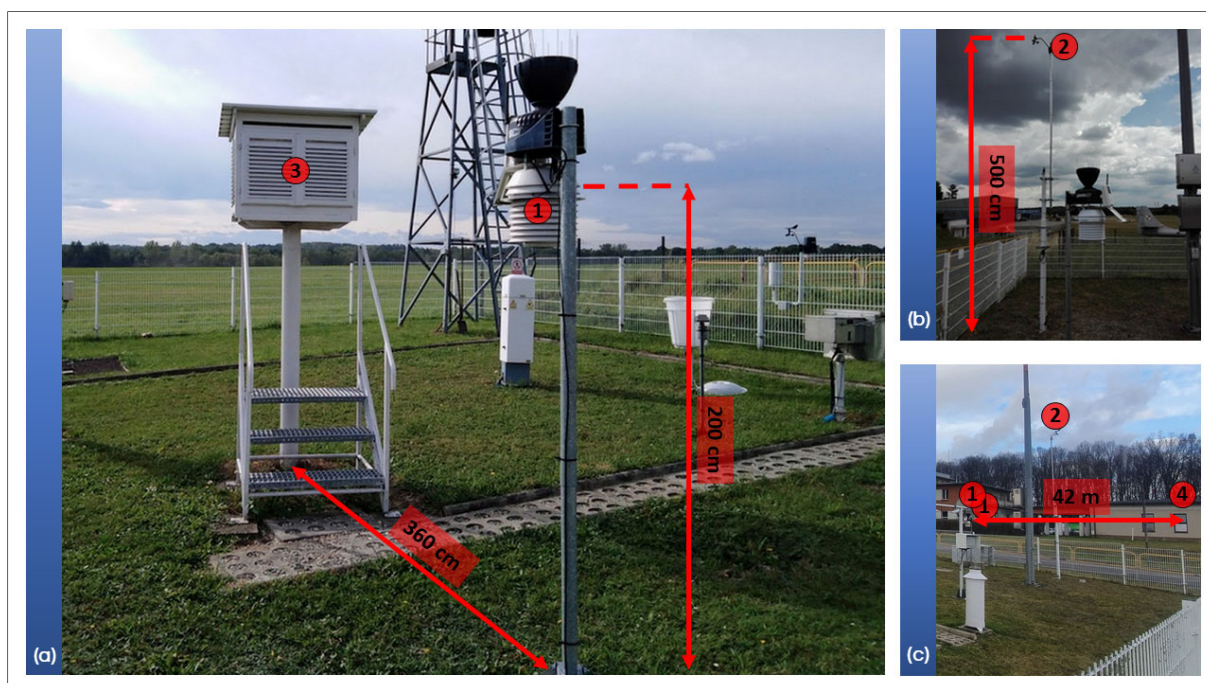


Rys. 13. Lokalizacja stacji (a-c): (c) 1 - amatorska stacja meteorologiczna Davis Vantage Pro 2A, (c) 2 - wiatromierz amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A, (c) 3 - klatka meteorologiczna stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec, (c) 4 - lokalizacja konsoli amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A odbierającej sygnał z przyrządów pomiarowych. Opracowanie własne na podstawie map <https://polska.geoportal2.pl/> i <https://www.google.pl/maps>.

W celu porównania pomiarów, w ogródku meteorologicznym stacji synoptycznej, zamontowano stację amatorską. Miejsce instalacji zostało wybrane tak by przyrządy nie zaburzały pomiarów wykonywanych przez czujniki w ogródku meteorologicznym (Rys. 14).

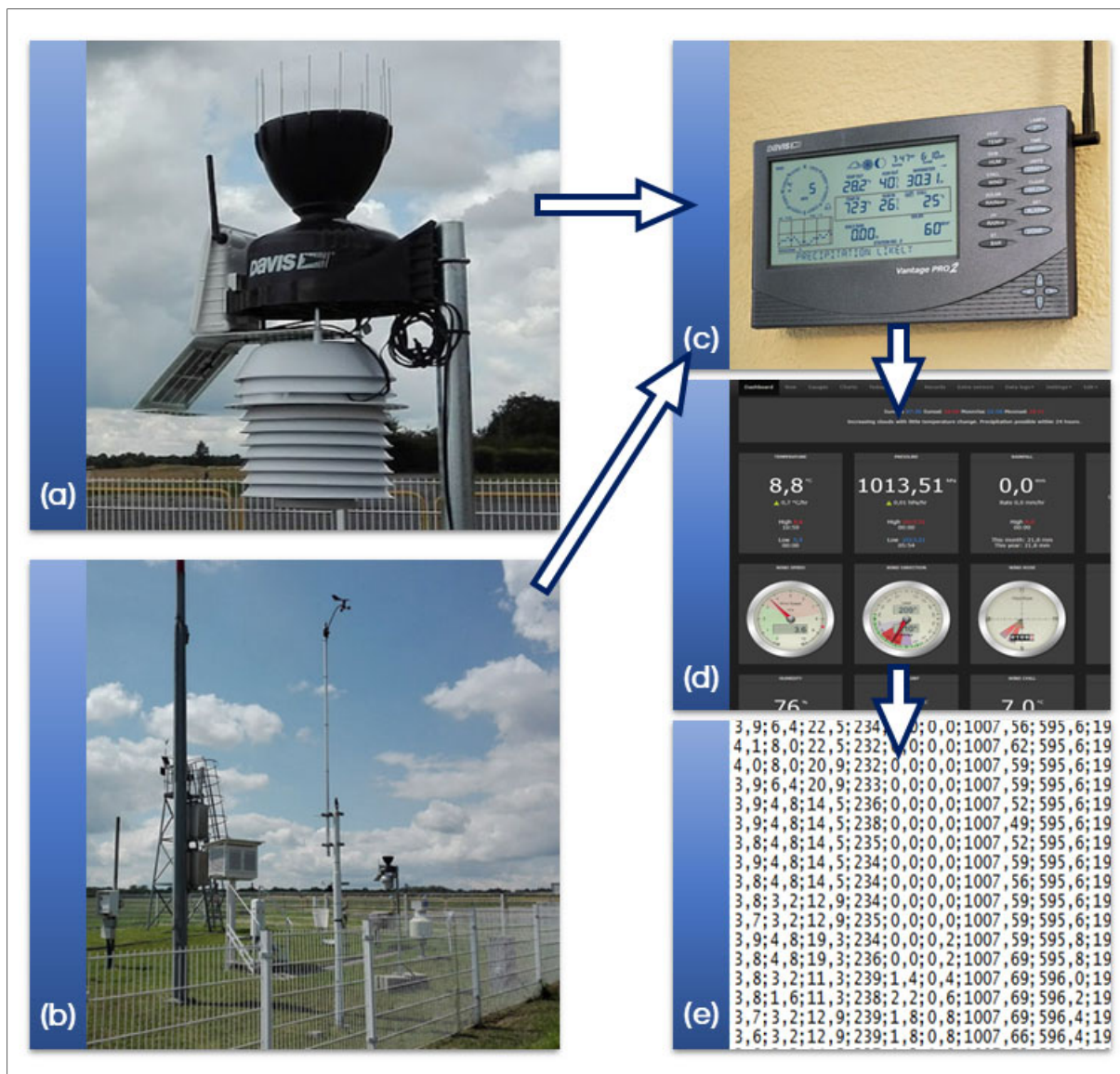


Rys. 14. Plan sytuacyjny rozmieszczenia wszystkich przyrządów pomiarowych na stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec oraz lokalizacja przyrządów amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A. Opracowanie własne.



Rys. 15. Usytuowanie przyrządów amatorskiej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A: (a) 1 - czujnik temperatury powietrza i wilgotności powietrza Davis Vantage Pro 2A, (a) 3 - klatka meteorologiczna IMGW-PIB, (b) 2 - wiatromierz Davis Vantage Pro 2A, (c) usytuowanie czujników względem konsoli odbierającej sygnał Davis Vantage Pro 2A. Opracowanie własne.





Rys. 16. Schemat przesyłania danych: (a) stacja Davis Vantage Pro 2A, (b) wiatromierz Davis Vantage Pro 2A, (c) konsola do odbioru danych, (d) program Cumulus MX, (e) schemat zapisu danych. Opracowanie własne.

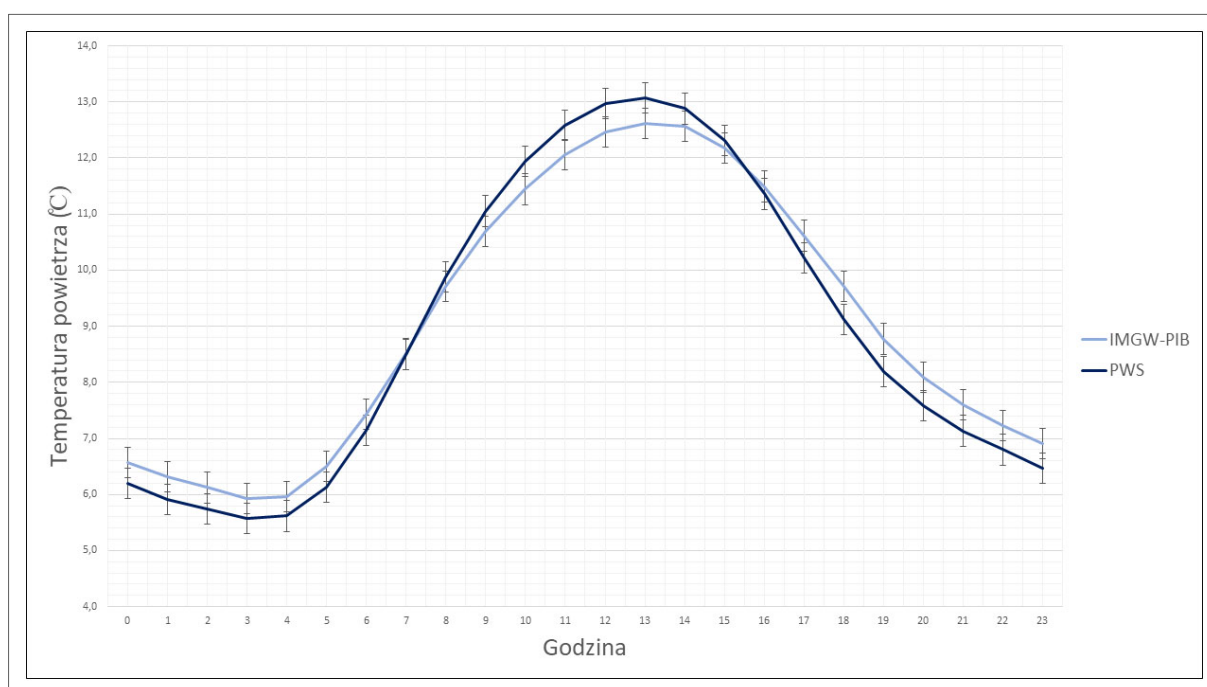
Analizy przeprowadzono z użyciem programu IBM SPSS Statistics 28 oraz pakietu MS Excel. Pobrana próbka danych pochodziła z dwóch stacji: synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec (IMGW-PIB) oraz amatorskiej automatycznej stacji meteorologicznej Davis Vantage Pro 2A (PWS) z okresu od pierwszego października 2019 roku do ostatniego dnia grudnia 2021 roku. W zależności od badanego parametru, uzyskano w tym okresie od 666 pomiarów w przypadku porywów wiatru na stacji IMGW-PIB do 19728 pomiarów temperatury powietrza. W ramach stacji PWS zarejestrowano dla każdego parametru łącznie 19723 pomiary. Przeprowadzone analizy testami Kołmogorowa - Smirnowa potwierdziły rozkład normalny jedynie w zakresie pomiaru ciśnienia atmosferycznego na stacji IMGW-PIB. Jednakże, symulacje badaczy dowiodły, iż rozkład normalny nie wiąże się ze współczynnikami

korelacji (53), a tym samym regresji prostej. Ponadto z uwagi na cel badań, jakim było porównanie stacji w okresie 24 godzinnego czasu pomiaru, a zatem prześledzenia interakcji między czujnikami czasu pomiaru, a stacji pomiarowej, zdecydowano się na wykonanie dwuczynnikowej analizy wariancji, której wyniki również nie wykazywały zmienności przy rozkładach nienormalnych w porównaniu do danych o rozkładzie normalnym (54).

#### 4.2.1. Porównanie pomiarów temperatury powietrza.

Przeprowadzona dwuczynnikowa analiza wariancji dla pomiarów temperatury powietrza (Rys. 17), wykazała brak istotnych statystycznie różnic w zależności od stacji pomiarowej ( $p = 1,000$ ) oraz brak istotnej statystycznie interakcji między stacją, a czasem pomiaru ( $p = 0,424$ ). Oznacza to, że rodzaj stacji pomiarowej nie różnicował pomiaru temperatury powietrza w ramach poszczególnych godzin. Współczynnik korelacji między pomiarami wyniósł  $r = 0,99$ , co sugerowało bardzo wysoką zgodność pomiarów.

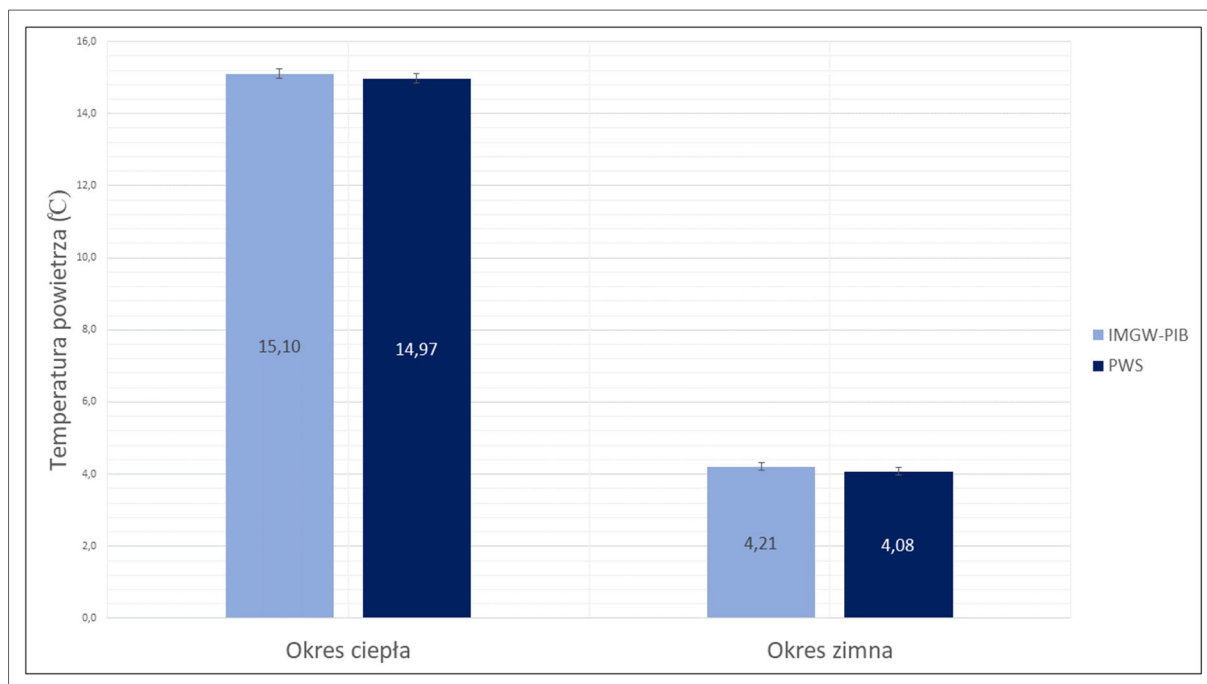
Na rysunkach 17-19, zaprezentowano uśrednione wyniki pomiarów obu stacji meteorologicznych w dobowym cyklu pomiarowym (Rys. 17) oraz w podziale na okresy półrocza ciepłego i zimnego (Rys. 18) lub meteorologiczne pory roku (Rys. 19).



Rys. 17. Zróżnicowanie pomiaru temperatury powietrza w zależności od stacji pomiarowej. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

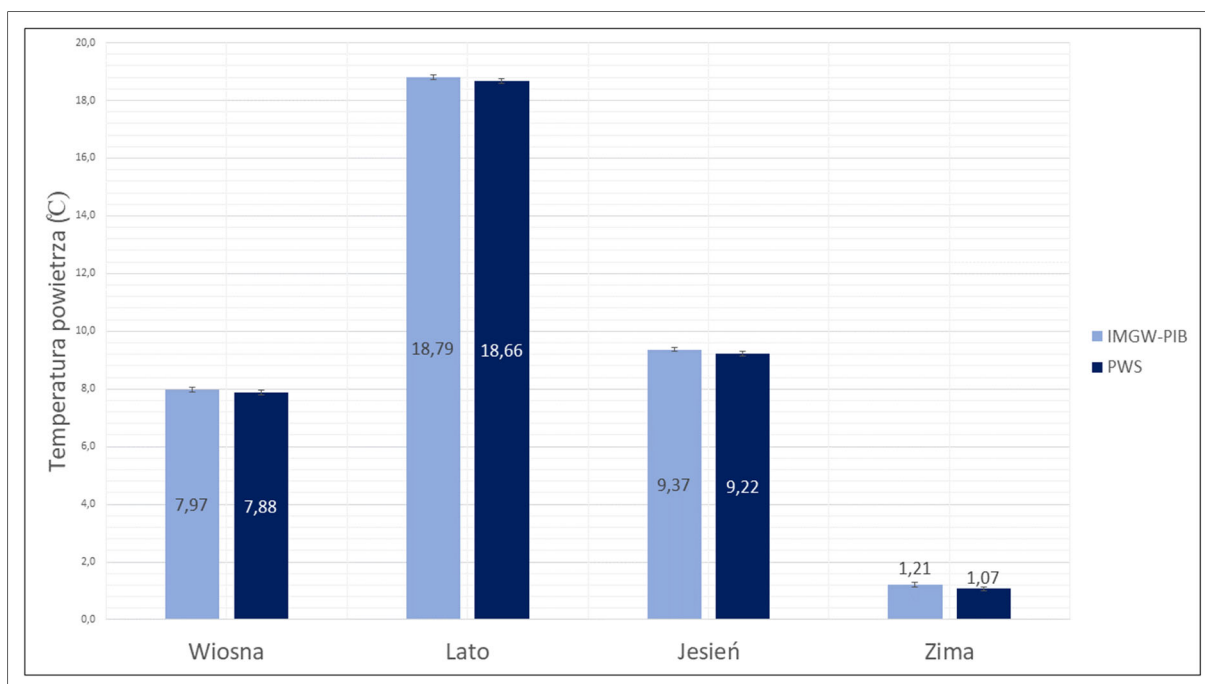
Przeprowadzona analiza wariancji dla porównania temperatury powietrza w półroczu ciepłym i zimnym w zależności od stacji pomiarowej (Rys. 18), potwierdziła brak istotnej

statystycznie interakcji ( $p = 0,962$ ). Oznacza to, że w obu okresach stacje pomiarowe dokonywały względnie równomiernych pomiarów temperatury powietrza. Potwierdzono jednak istotny statystycznie efekt pomiaru temperatury w ciągu całego roku ( $p = 0,038$ ), który był średnio wyższy o  $0,13^{\circ}\text{C}$  w przypadku stacji IMGW-PIB ( $M = 9,66$ ) w porównaniu do stacji PWS ( $M = 9,53$ ). Efekt ten był jednak stosunkowo słaby.



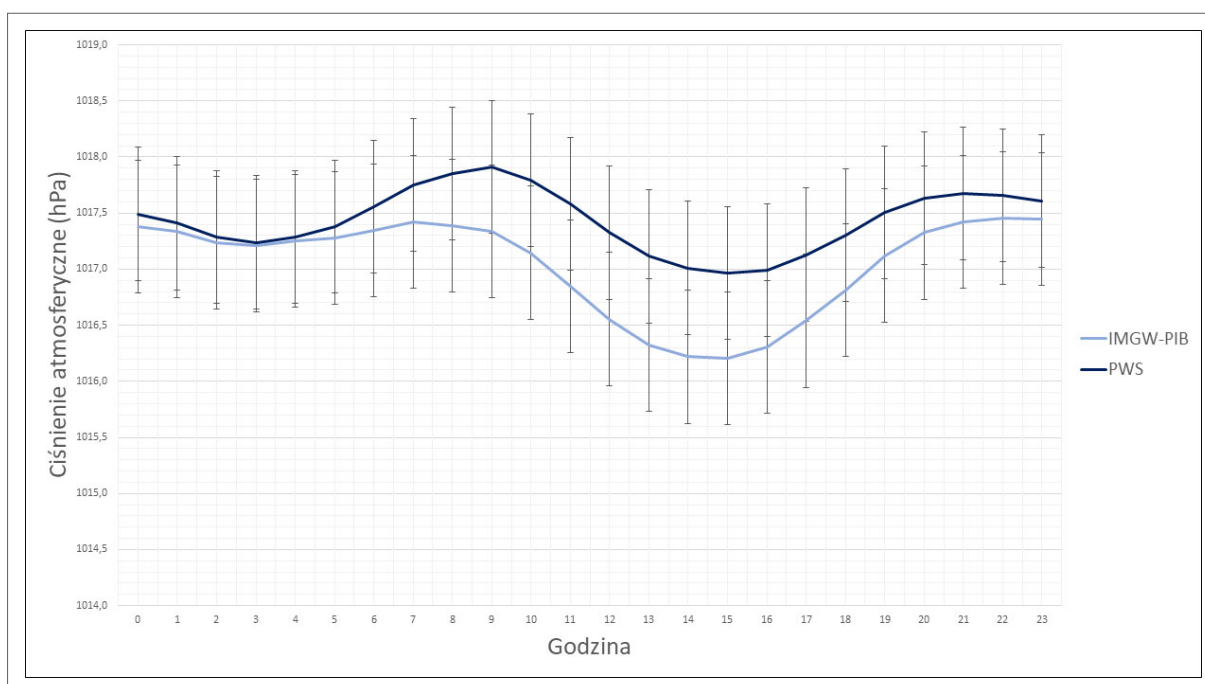
Rys. 18. Zróżnicowanie pomiaru temperatury powietrza w zależności od półrocza ciepłego - zimnego. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

Analiza w obrębie interakcji pory roku z pomiarem na stacji pomiarowej w zakresie pomiarów temperatury powietrza (Rys. 19), potwierdziła brak istotnego statystycznie efektu ( $p = 0,979$ ). Oznacza to, że pomiary temperatury powietrza przeprowadzone we wszystkich porach roku były względnie równomierne na obu stacjach i nie odbiegały od siebie znacząco.



Rys. 19. Zróżnicowanie pomiaru temperatury powietrza w zależności od pory roku. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

#### 4.2.2. Porównanie pomiarów ciśnienia atmosferycznego.



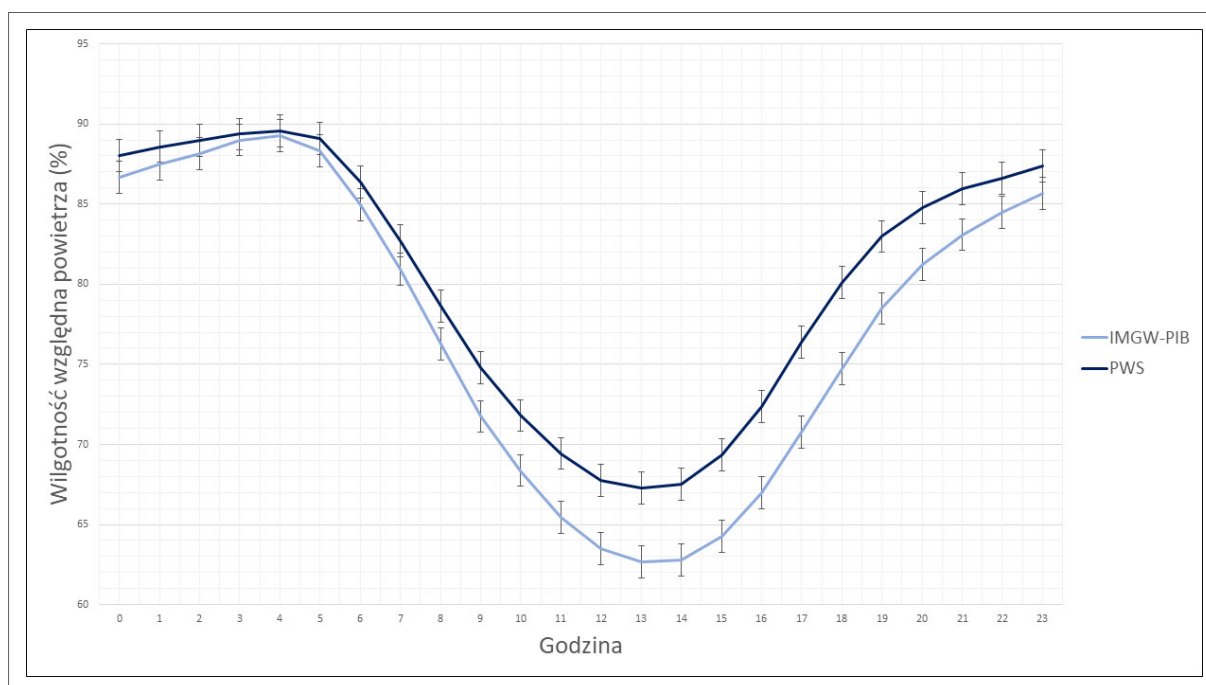
Rys. 20. Zróżnicowanie pomiaru ciśnienia atmosferycznego w poszczególnych godzinach w zależności od stacji. Słupki błędów stanowią 95% poziom ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

Na rysunku (Rys. 20), zaprezentowano wyniki średniego rozkładu pomiaru ciśnienia atmosferycznego w zależności od godziny pomiaru oraz typu stacji. Nie stwierdzono istotnego

statystycznie efektu interakcji ( $p = 0,994$ ), co oznaczało brak zróżnicowania pomiarów między stacjami w zależności od konkretnej godziny. Stwierdzono natomiast istotny statystycznie efekt główny stacji ( $p < 0,001$ ), w którym zaobserwowano istotnie wyższą przeciętną wartość ciśnienia atmosferycznego w przypadku stacji PWS ( $M = 1017,44$ ) w porównaniu do stacji IMGW-PIB ( $M = 1017,04$ ). Efekt ten nie był jednak stosunkowo duży i dotyczył jedynie różnicy  $0,4$  hPa.

#### 4.2.3. Porównanie pomiarów wilgotności względnej powietrza.

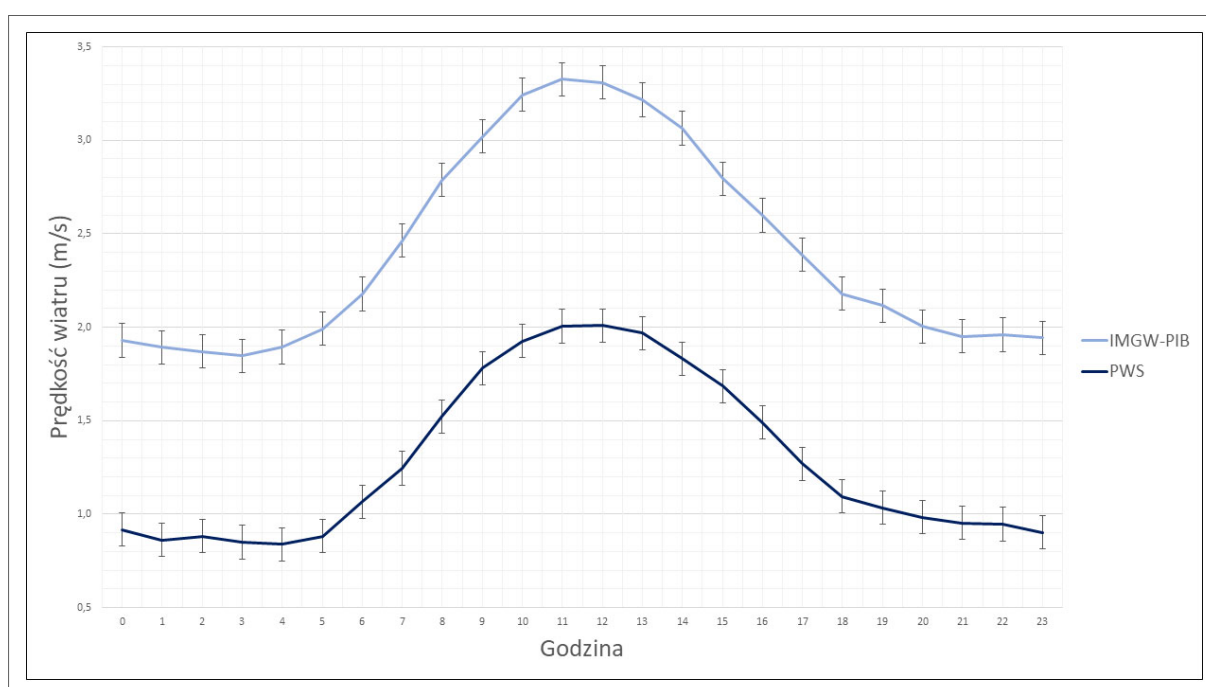
Analiza różnic w zakresie pomiaru wilgotności względnej powietrza (Rys. 21) potwierdziła istotny statystycznie efekt interakcji pomiędzy rodzajem stacji pomiarowej a godziną pomiaru ( $p < 0,001$ ). Okazało się, że wilgotność względna powietrza między północą a godziną 5:00 nie różniła się pomiędzy stacjami, obie stacje rejestrowały wilgotność względną powietrza na poziomie  $87\% - 89\%$ . Od godziny 6:00 zaobserwowano istotnie statystycznie wyższą wilgotność względną powietrza rejestrowaną przez stację PWS w porównaniu do stacji IMGW-PIB. Przepiętna wartość wahała się od  $1,5\%$  różnicy o godzinie 6:00 do nawet  $5,6\%$  różnicy o godzinie 17:00. Uśredniając te wyniki, stwierdzono, że w okresie między 6:00 a 23:00, stacja PWS rejestruje przeciętnie  $3\%$  wyższą wilgotność względną powietrza w porównaniu do stacji IMGW-PIB.



Rys. 21. Zróżnicowanie wilgotności względnej w poszczególnych godzinach w zależności od stacji. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

#### 4.2.4. Porównanie pomiarów prędkości wiatru.

Przeprowadzona analiza wariancji w zakresie zróżnicowania pomiaru prędkości wiatru (Rys. 22), potwierdza istotnie statystycznie wyższą prędkość wiatru rejestrowaną przez stację IMGW-PIB w ciągu całego cyklu dobowego ( $p < 0,001$ ). Co więcej, zaobserwowano również efekt interakcji między czasem pomiaru a stacją pomiarową ( $p < 0,001$ ), który wskazał, iż stacja IMGW-PIB rejestrowała istotnie wyższe prędkości wiatru w godzinach 6:00 - 18:00 w porównaniu do 19:00 - 5:00. Z kolei w przypadku stacji PWS, zaobserwowano istotnie wyższe prędkości wiatru w krótszym przedziale czasu w ciągu dnia, między 7:00 a 17:00 w porównaniu do wartości rejestrowanych między godziną 18:00 a 6:00.

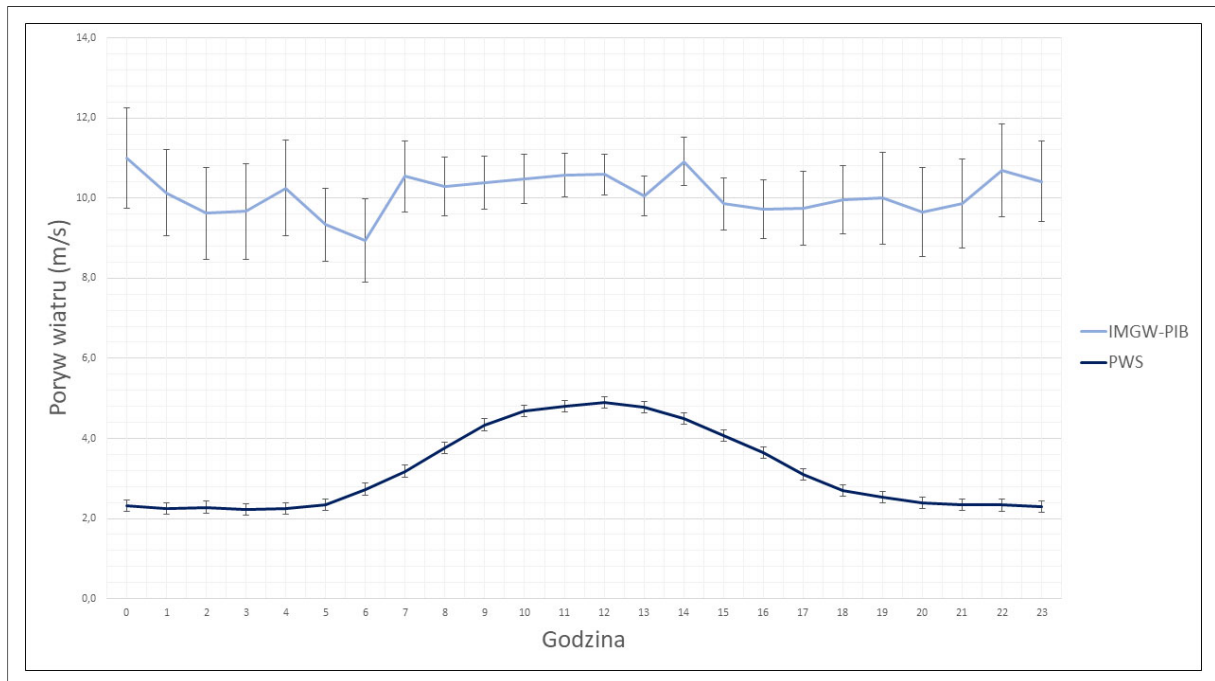


Rys. 22. Zróżnicowanie pomiaru prędkości wiatru w poszczególnych godzinach w zależności od stacji. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

#### 4.2.5. Porównanie pomiarów porywu wiatru.

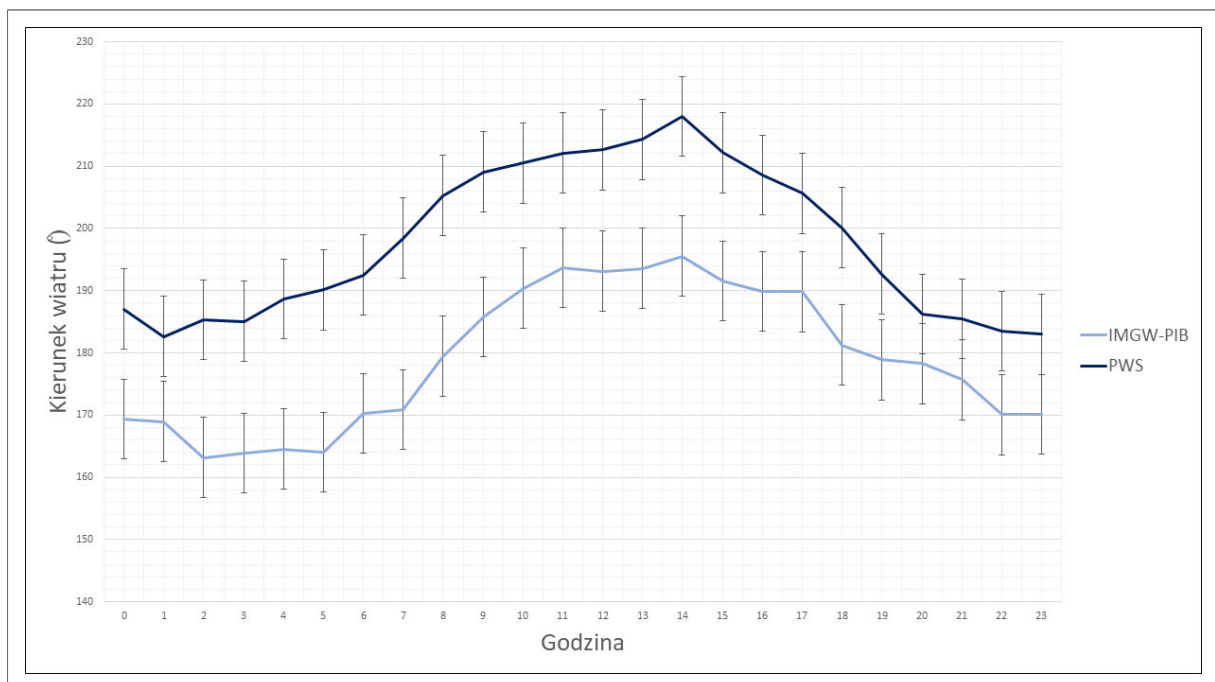
Z uwagi na zróżnicowany pomiar porywu wiatru (Rys. 23), interpretacji poddano jedynie istotny statystycznie efekt interakcji ( $p < 0,001$ ), który pozwalał na ustaleniu poziomu różnic między poszczególnymi godzinami w ramach danej stacji. W przypadku stacji PWS stwierdzono porywy wiatru o charakterze rozkładu normalnego, które wskazywały na silniejsze porywy wiatru między godziną 6:00 a 18:00 w porównaniu do pozostałych godzin. Najsilniejsze porywy wiatru występowały między godziną 10:00 a 14:00. W przypadku stacji IMGW-PIB nie stwierdzono żadnych istotnych różnic w rejestrowanych porywach wiatru na

przestrzeni całego okresu badania, przeciętna wartość porywów wiatru wyniosła 10,11 m/s  $\pm$  1 m/s.



Rys. 23. Zróżnicowanie porywu wiatru w poszczególnych godzinach w zależności od stacji. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

#### 4.2.6. Porównanie pomiarów kierunku wiatru.

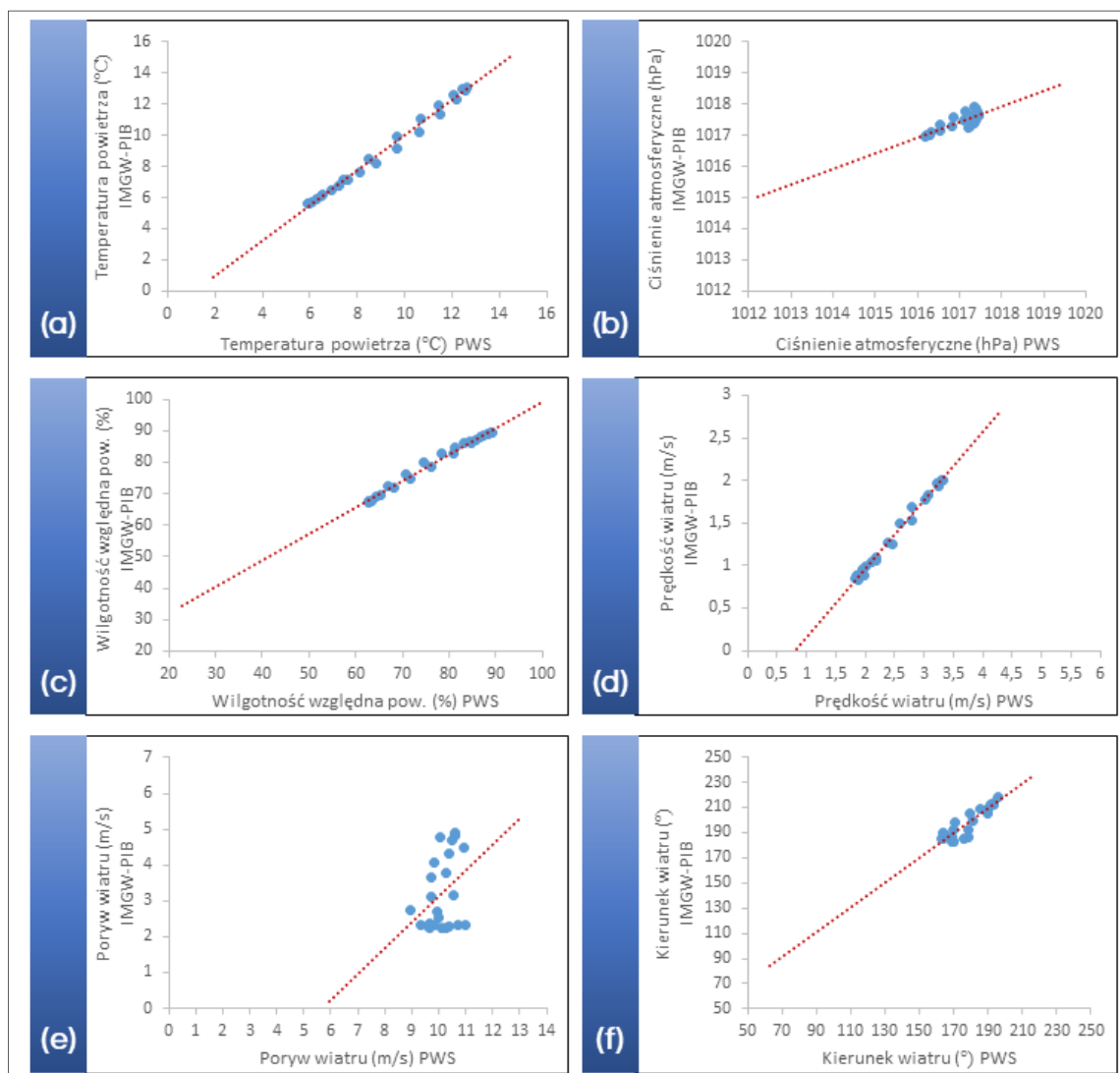


Rys. 24. Zróżnicowanie kierunku wiatru w poszczególnych godzinach w zależności od stacji. Słupki błędów stanowią 95% przedział ufności dla średnich wyników pomiaru. Opracowanie własne.

Obserwując wyniki analizy wariancji dla zróżnicowania pomiaru kierunku wiatru w obu stacjach (Rys. 24), potwierdzono brak istotnej statystycznie interakcji między stacją pomiarową a godziną pomiaru ( $p = 0,218$ ). Oznacza to, że zmiana kierunku wiatru była podobna w obu stacjach. Potwierdzono natomiast istotną różnicę w pomiarze kierunku wiatru w zależności od stacji pomiarowej ( $p < 0,001$ ). Efekt ten wskazywał, że stacja PWS rejestrowała kierunek wiatru średnio  $20^\circ$  przesunięty na południowy wschód.

#### 4.2.7. Analiza regresji - podobieństwo danych.

Na rysunku (Rys. 25), zaprezentowano analizy regresji liniowej dla mierzonych parametrów przez stacje IMGW-PIB i PWS w celu sprawdzenia podobieństwa pomiarów. Dane ze stacji IMGW-PIB potraktowano jako zmienną zależną. Analizy przeprowadzono na danych surowych, natomiast wykresy, celem uproszczenia, przedstawiono dla danych godzinowych.



Rys. 25. Analiza podobieństwa pomiarów poszczególnych parametrów w zależności od stacji. Zaprezentowano linie regresji dla uśrednionych pomiarów godzinowych. Opracowanie własne.



Wszystkie analizowane modele regresji wykazały się być istotne na poziomie  $p < 0,001$  (Rys. 25). W przypadku temperatury powietrza zaobserwowano niemal doskonałą korelację między danymi pobieranymi ze stacji ( $r = 0,993$ ), podobnie w przypadku pomiaru ciśnienia atmosferycznego ( $r = 0,999$ ). Nieco słabszą, jednak wciąż wysoką zbieżność danych, stwierdzono w przypadku wilgotności względnej powietrza ( $r = 0,953$ ). Prędkość wiatru wykazywała znacznie słabszą zgodność w pomiarach między stacjami ( $r = 0,700$ ), podobnie jak w wypadku kierunku wiatru ( $r = 0,577$ ) i porywu wiatru ( $r = 0,579$ ). Oznacza to, że pomiary temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego i wilgotności względnej powietrza wykonane przez stacje PWS i IMGW-PIB nie różniły się. Natomiast pomiary związane z wiatrem wykazywały znacznie niższą zgodność.

## **5. Możliwość wykorzystania amatorskich stacji meteorologicznych do zweryfikowania i oceny zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów o dużej wydajności.**

Opad atmosferyczny, będący wynikiem procesów zachodzących w atmosferze, uruchamia wszystkie procesy hydrologiczne na Ziemi i jest podstawowym elementem bilansu wodnego. Szczególne znaczenie mają opady o dużej wydajności, wywołujące wezbrania i powodzie zagrażające życiu i mieniu człowieka.

Problematyka związana z ekstremalnymi zjawiskami atmosferycznymi jest wciąż aktualna ze względu na współczesną zmianę klimatu. W ostatnich latach, obserwuje się zwiększoną częstotliwość i intensywność różnego typu niebezpiecznych zjawisk atmosferycznych. Jednym z tych zjawisk jest opad o dużej wydajności. Intensywne opady deszczu trwające czasami nie dłużej niż kilkanaście minut mogą prowadzić do znacznych strat materialnych. Przeciążenia systemów kanalizacyjnych, gwałtowne wezbrania cieków oraz podtopienia są szczególnie niebezpieczne dla społeczeństwa na obszarach silnie zurbanizowanych.

Jedną z klasyfikacji opadów ulewnych i nawałnych, która opiera się na analizie ich wydajności, jest skala Chomicza (55) (56). Chomicz wydzielił na terenie Polski obszary o podobnym przebiegu deszczów ulewnych i nawałnych. Dla opadów o dużej wydajności Chomicz wprowadził podział przedstawiony w tabeli (Tab. 6). Opad zalicza się do określonej kategorii na podstawie obliczonego współczynnika wydajności opadu  $\alpha$

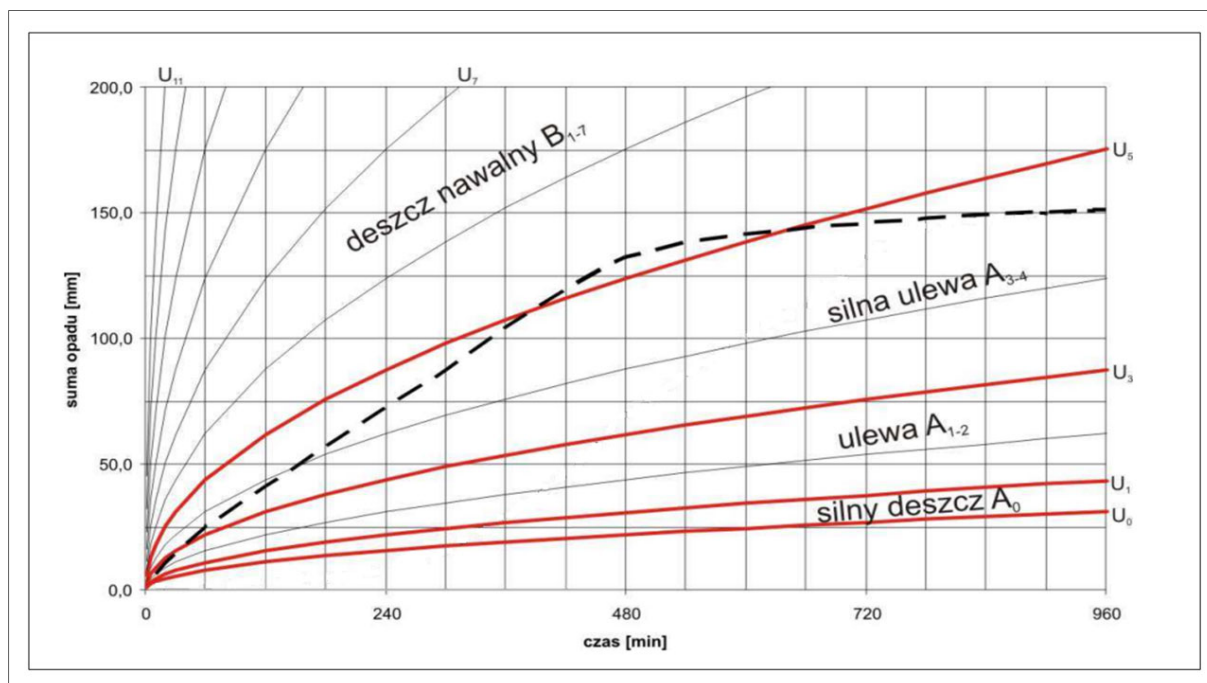
$$\alpha = \frac{h}{\sqrt{t}} \quad (6)$$

gdzie:  $h$  – wysokość opadu [mm],  $t$  – czas trwania opadu [min].

Tab. 6. Skala Chomicza (55).

Stopień skali	Współczynnik wydajności opadu $\alpha$	Kategoria deszczu	
		Określenie	Znak literowy
0	0,0 - 1,0	Zwykły deszcz	-
1	1,01 - 1,40	Silny deszcz	A <sub>0</sub>
2	1,41 - 2,00	Deszcz ulewny - I st.	A <sub>1</sub>
3	2,01 - 2,82	Deszcz ulewny - II st.	A <sub>2</sub>
4	2,83 - 4,00	Deszcz ulewny - III st.	A <sub>3</sub>
5	4,01 - 5,65	Deszcz ulewny - IV st.	A <sub>4</sub>
6	5,66 - 8,00	Deszcz nawalny - I st.	B <sub>1</sub>
7	8,01 - 11,30	Deszcz nawalny - II st.	B <sub>2</sub>
8	11,31 - 16,00	Deszcz nawalny - III st.	B <sub>3</sub>
9	16,01 - 22,61	Deszcz nawalny - IV st.	B <sub>4</sub>
10	22,62 - 32,00	Deszcz nawalny - V st.	B <sub>5</sub>
11	32,01 - 45,23	Deszcz nawalny - VI st.	B <sub>6</sub>
12	45,24 - 64,00	Deszcz nawalny - VII st.	B <sub>7</sub>

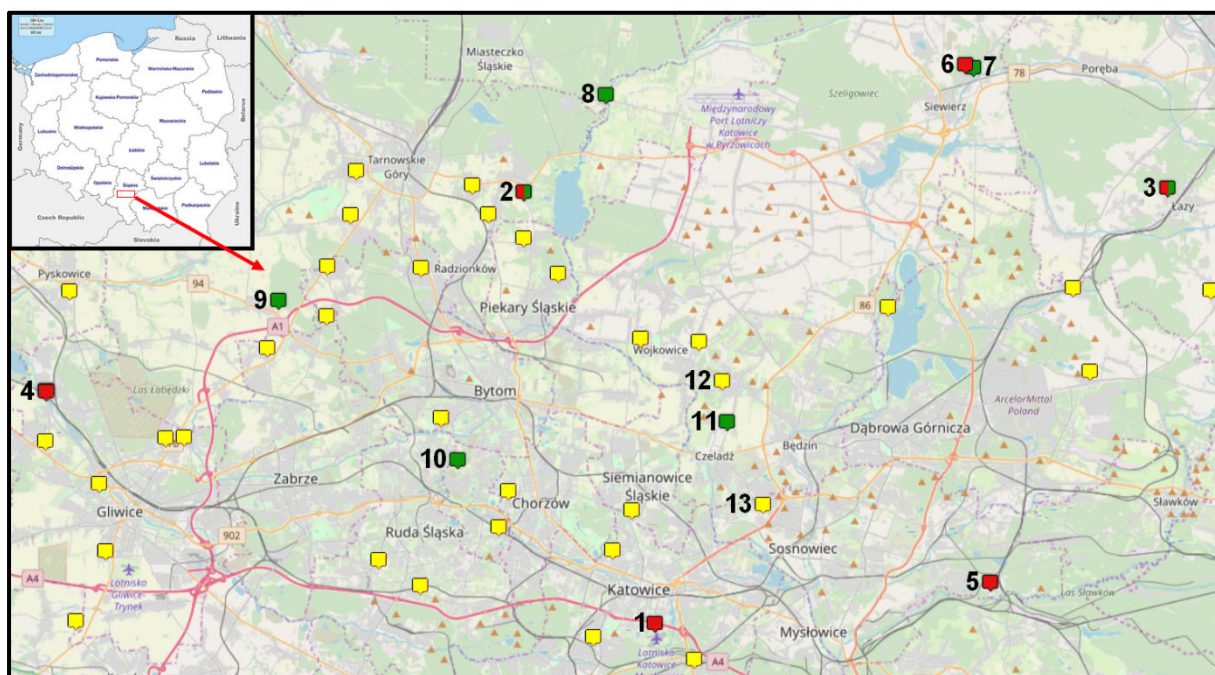
Deszcze o wydajności powyżej kategorii A<sub>3</sub> (tj. o współczynniku wydajności  $\alpha \geq 4,0$ ) powszechnie są uznawane za potencjalną przyczynę powstawania szkód zalaniowych.







Rys. 26. Pęk parabol dzielących obszar zmienności opadu na wycinki odpowiadające różnym kategoriom deszczu wg Chomicza, 1951 (55).

Na rysunku (Rys. 26) pęk powstały z krzywych  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$  dzieli obszar zmienności opadu na szereg wycinków odpowiadających: intensywnym deszczom (pole A<sub>0</sub>), ulewom i silnym ulewom (pola A<sub>1</sub> - A<sub>4</sub>) oraz deszczom nawalnym (pola B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ...). Dębski (57) oceniając skalę Chomicza napisał, że została utworzona „niezawodna i dokładna metoda porównania ze sobą różnych deszczów krótkotrwałych, tak pod względem wydajności, jak i natężeń”.

W celu możliwości wykorzystania sieci amatorskich stacji meteorologicznych do zweryfikowania i oceny ekstremalnych zjawisk o zasięgu lokalnym spośród trzech sieci, takich jak: Weather Underground Personal Weather Station Network (WU), Automatisches Wetterkarten System (AWEKAS), Citizen Weather Observer Program (CWOP) wybrana została sieć amatorskich stacji, która posiada największą ilość zarejestrowanych, czynnych użytkowników, czyli Weather Underground. Stacje położone w obrębie badań prezentuje mapa (Rys. 27). Dodatkowo na mapę zostały naniesione stacje meteorologiczne należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego.



Rys. 27. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych na badanym terenie (centralna część województwa śląskiego). Czerwone punkty  - stacje IMGW-PIB z deszczomierzem automatycznym, zielone punkty  - stacje IMGW-PIB z deszczomierzem manualnym, czerwone i zielone punkty  - stacje IMGW-PIB z deszczomierzem automatycznym i deszczomierzem manualnym, żółte punkty  - amatorskie stacje meteorologiczne. Opracowanie własne. Podkład mapy Open Street Map.

Następnie dokonano przeglądu danych z roku 2018, dotyczących maksymalnych, dobowych sum opadu atmosferycznego wszystkich 34 amatorskich stacji należących do sieci Weather Underground i wytypowano dwie stacje, na których dobową sumę opadu atmosferycznego (11.08.2018 r.) wyniosła odpowiednio: 31 mm (Będzin) oraz 23,6 mm (Sosnowiec). Na pozostałych amatorskich stacjach opad o takiej wielkości nie wystąpił. Kolejnym krokiem było zebranie danych opadu z analizowanego dnia z 6 stacji IMGW-PIB wyposażonych w deszczomierz Met One Instruments (deszczomierz automatyczny) oraz z 7 stacji z deszczomierzem Hellmanna (deszczomierz manualny). Dane z deszczomierzy automatycznych przeliczono, uporządkowano i zestawiono w postaci wykresu liniowego pokazującego przebieg intensywności i wielkości zjawiska opadu w ciągu jednej doby. Dokonano również analizy sytuacji synoptycznej, analizy materiałów pomiarowo-obszernych oraz produktów radarów meteorologicznych reprezentatywnych dla rejonu Będzina i Sosnowca.

Powierzchnia obszaru badań wynosiła około 1920 km<sup>2</sup>. Gęstość rozmieszczenia amatorskich stacji na tym obszarze równa była 1,7 stacji na 100 km<sup>2</sup> i 0,31 stacji automatycznych IMGW-PIB na 100 km<sup>2</sup>. Amatorska stacja meteorologiczna w Będzinie (Rys. 27) (punkt 12) oddalona była od najbliższej automatycznej stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Katowicach o 12,3 km (Rys. 27) (punkt 1). Odległość amatorskiej stacji w Sosnowcu (Rys. 27) (punkt 13) od stacji IMGW-PIB w Katowicach to 7,9 km. Odległość od najbliższej stacji meteorologicznej IMGW-PIB w Czeladzi (Rys. 27) (punkt 11) wyposażonej w manualny deszczomierz Hellmanna wynosiła dla stacji w Będzinie 2,0 km, a dla stacji w Sosnowcu 4,2 km. Obie amatorskie stacje dzieliła odległość 6,2 km. Dnia 11.05.2018 r. największy, dobowy opad zanotowano na dwóch amatorskich stacjach meteorologicznych (Tab. 7).

Tab. 7. Sumy dobowe opadu atmosferycznego z dnia 11.05.2018 r. (stacje automatyczne). Opracowanie własne.

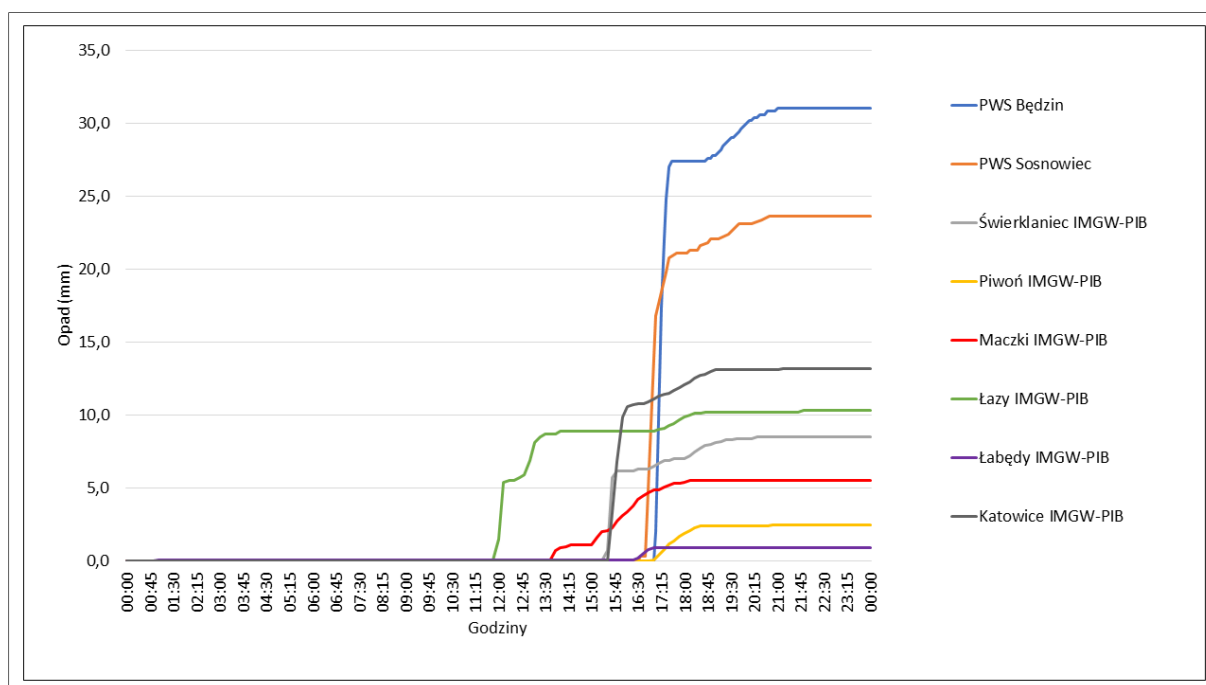
Stacja meteorologiczna	Rodzaj deszczomierza	Opad (suma) mm
Katowice IMGW-PIB (punkt 1)	Met One Instruments	13,2
Świerklaniec IMGW-PIB (punkt 2)	Met One Instruments	8,5
Łazy IMGW-PIB (punkt 3)	Met One Instruments	10,3
Łabędy IMGW-PIB (punkt 4)	Met One Instruments	0,9
Maczki IMGW-PIB (punkt 5)	Met One Instruments	5,5
Piwoń IMGW-PIB (punkt 6)	Met One Instruments	2,5
Będzin PWS (punkt 12)	Davis Vantage Vue	31,0
Sosnowiec PWS (punkt 13)	Netatmo Weather Stations	23,6

Największy dobowy opad na automatycznych stacjach IMGW-PIB zanotowano w Katowicach (Tab. 7). Opad w Będzinie był o 17,8 mm większy od opadu w Katowicach, natomiast opad w Sosnowcu był o 10,4 mm większy od opadu w Katowicach.

Spośród stacji wyposażonych w deszczomierz manualny Hellmanna największy opad dobowy wystąpił na stacji IMGW-PIB w Czeladzi (Tab. 8). Był mniejszy od opadu zarejestrowanego przez amatorską stację w Grodźcu o 5,3 mm i większy od opadu zarejestrowanego przez amatorską stację w Sosnowcu o 2,1 mm.

Tab. 8. Sumy dobowe opadu atmosferycznego dnia 11.05.2018 r. (stacje manualne). Opracowanie własne.

Stacja meteorologiczna	Rodzaj deszczomierza	Opad (suma) mm
Świerklaniec IMGW-PIB (punkt 2)	Hellmanna	8,8
Łazy IMGW-PIB (punkt 3)	Hellmanna	10,2
Piwoń IMGW-PIB (punkt 7)	Hellmanna	2,9
Brynica IMGW-PIB (punkt 8)	Hellmanna	13,6
Wieszowa IMGW-PIB (punkt 9)	Hellmanna	0,8
Lipiny IMGW-PIB (punkt 10)	Hellmanna	17,7
Czeladź (punkt 11)	Hellmanna	25,7

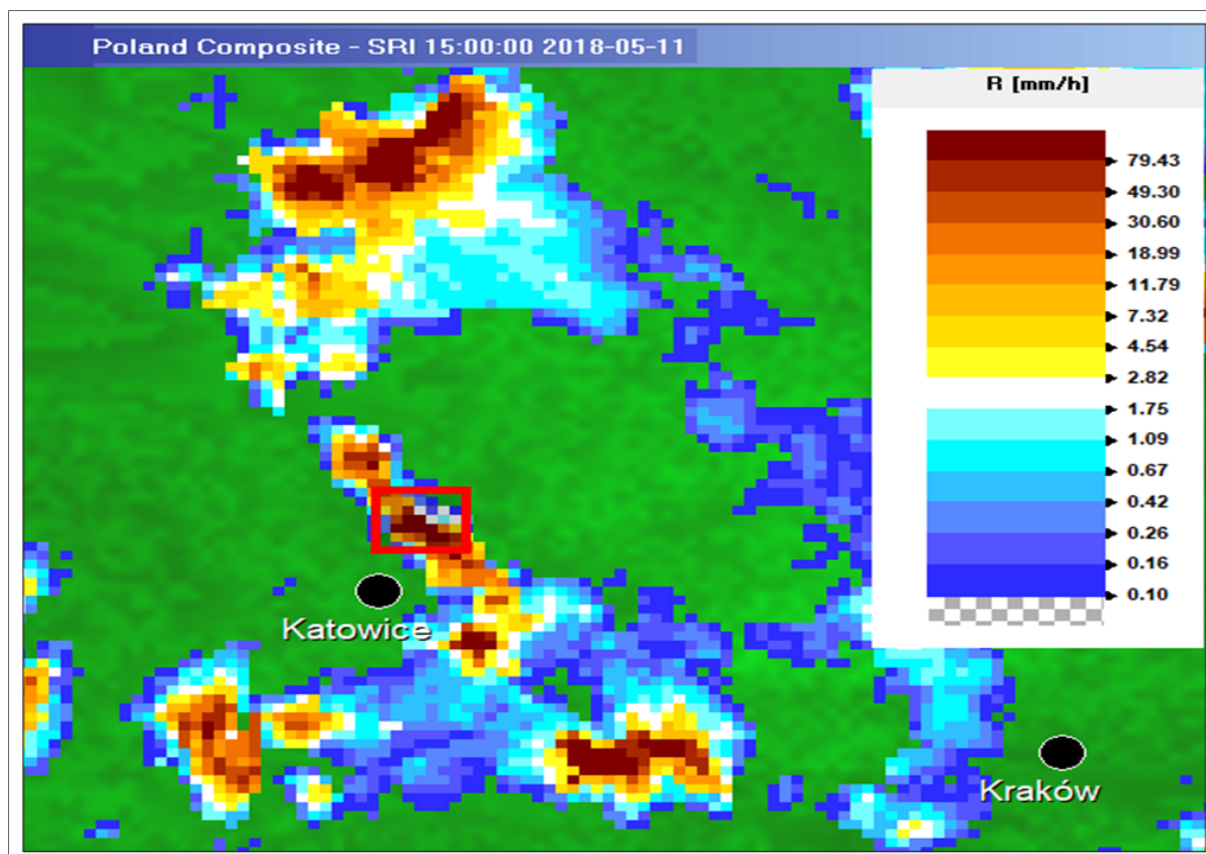


Rys. 28. Wysokość opadu deszczu zarejestrowanego przez automatyczne stacje. Opracowanie własne.

Od godziny 17:00 do godziny 18:00 natężenie opadu zarejestrowanego przez amatorską stację w Będzinie wyniosło 27,4 mm/h (Rys. 28). Największe natężenie opadu

zarejestrowanego przez amatorską stację w Sosnowcu wyniosło z kolei 20,8 mm/h i wystąpiło od godziny 16:30 do godziny 17:30 (Rys. 28). Największe natężenie opadu na automatycznych stacjach IMGW-PIB wystąpiło na stacji w Katowicach i wyniosło 10,8 mm/h (od godziny 15:30 do 16:30).

Analiza obrazów radarowych wskazuje, iż najintensywniejsza faza opadów tego dnia wystąpiła w rejonie Sosnowca, Czeladzi i Będzina (Rys. 29).



Rys. 29. Natężenie opadów atmosferycznych 11 maja 2018 r. o godzinie 17:00 czasu urzędowego letniego, wg produktu DPSRI radaru meteorologicznego Ramża. Źródło: zbiory IMGW-PIB (58).

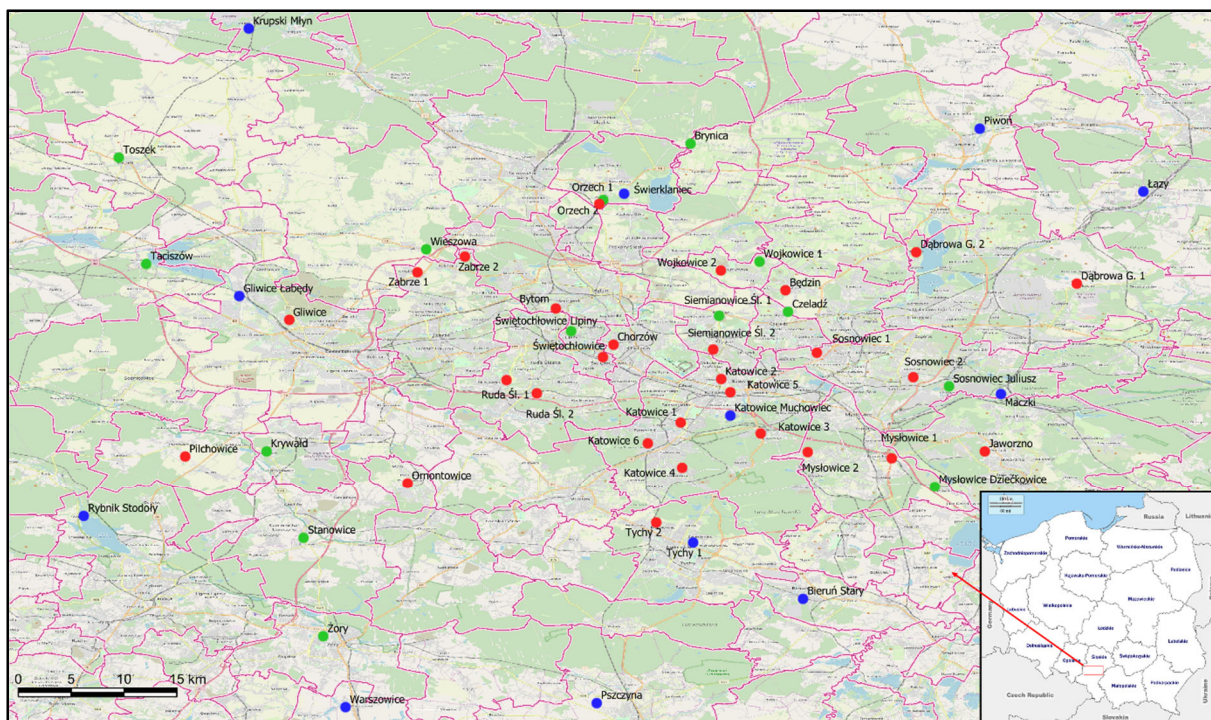
Opady burzowe występowały od godziny 16:30 do 17:30, a maksymalna faza opadów wystąpiła między 17:00 a 17:20.

Analiza ilości i rozmieszczenia amatorskich stacji meteorologicznych wykazała, iż dane z takich stacji stają się atrakcyjnym źródłem informacji w celu zidentyfikowania i pomiaru ekstremalnych zjawisk. Gęstość sieci amatorskich stacji meteorologicznych jest prawie 5,5 razy większa od gęstości sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego. Jedenastego maja 2018 roku teren badań znajdował się w obszarze niskiego ciśnienia związanego z niżami znad Północnego Atlantyku i Skandynawii. Z niżem związany

był front chłodny wypierający na wschód ciepłe i parne powietrze. W zasięgu frontu i tuż przed nim tworzyły się liczne komórki burzowe, które przyniosły intensywne opady deszczu. Największe sumy opadów zarejestrowały trzy stacje. Jedna w Czeladzi należąca do IMGW-PIB i dwie amatorskie stacje w Będzinie i Sosnowcu. Stacja IMGW-PIB jest jednak stacją wyposażoną tylko w deszczomierz manualny, z którego pomiary odczytywane są raz na dobę, o godzinie 6:00 UTC, a amatorskie stacje w Będzinie i Sosnowcu są stacjami działającymi online. Dane z tych stacji można było tego dnia monitorować na bieżąco. Analiza obrazów radarowych oraz pomiar i obserwacje stacji IMGW-PIB w Czeladzi potwierdziły możliwość wystąpienia deszczu ulewnego. Wg skali Chomicza (55) (59) opad zarejestrowany przez amatorską stację meteorologiczną w Będzinie zaliczyć można do kategorii A<sub>4</sub> a opad zarejestrowany przez stację w Sosnowcu do kategorii A<sub>3</sub>. Opady o wydajności powyżej A<sub>3</sub> w skali Chomicza uznawane są za potencjalną przyczynę powstawania szkód zalewowych.

W drugim badaniu podjęto próbę oceny opadu o dużej wydajności na podstawie pomiarów sieci amatorskich stacji meteorologicznych.

W tym celu wybrany został jeden dzień w roku 2019, w którym wystąpiła największa dobową sumą opadu atmosferycznego zarejestrowanego przez sieć pomiarową IMGW-PIB w rejonie stacji synoptycznej Katowice-Muchowiec. Największa suma opadu wystąpiła w dniu 27 lipca 2019 roku i wynosiła 78,8 mm. Kolejnym krokiem było zebranie danych dobowych sum opadów, jakie tego dnia pomierzono na wszystkich pobliskich stacjach należących do IMGW-PIB. Zgromadzono dane z 11 stacji z funkcją telemetryczną, w tym z jednej stacji klimatologicznej III rzędu, dwóch stacji klimatologicznych IV rzędu oraz ośmiu stacji opadowych V rzędu (60) (61). Dodatkowo wykorzystano dane z 14 stacji opadowych V rzędu IMGW-PIB bez funkcji telemetrycznej (deszczomierz manualny Hellmanna). Następnie spośród czterech sieci amatorskich stacji meteorologicznych, takich jak: Citizen Weather Observer Program (CWOP), Automatisches Wetterkarten System (AWEKAS), Weathercloud, Weather Underground Personal Weather Station Network (WU), wybrano 28 amatorskich stacji meteorologicznych zlokalizowanych w pobliżu stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec. Lokalizację wszystkich wytypowanych stacji IMGW-PIB oraz amatorskich stacji meteorologicznych pokazano na rysunku (Rys. 30).



Rys. 30. Rozmieszczenie wybranych stacji meteorologicznych na badanym terenie (centralna część województwa śląskiego). Niebieskie punkty ● - stacje telemetryczne IMGW-PIB, zielone punkty ● - stacje z deszczomierzem manualnym Hellmanna IMGW-PIB, czerwone punkty ● - amatorskie stacje meteorologiczne. Opracowanie własne. Podkład mapy Open Street Map.

Na wybranych stacjach automatycznych IMGW-PIB wykorzystywane były dwa urządzenia do pomiaru opadów. Pierwszy to Aster (TGP-124-H230), drugi to MetOne (60030, 60030H) (Tab. 9). Urządzenia te zgodne były z wymogami WMO. Rozdzielczość urządzeń wynosiła 0,1 mm a dokładność pomiaru sumy opadu +/- 2% dla sumy > 5 mm (Tab. 10). W urządzeniach tych wykorzystywano metodę pomiaru przechwytyjąco-wagową (korytko wywrotne – metoda opisana w rozdziale 4).

Wybrane stacje nieautomatyczne IMGW-PIB wykorzystywały do pomiaru opadu deszczomierz Hellmanna (Tab. 9). Jest on jednym z najszerzej stosowanych pluwiometrów na świecie i zaakceptowanym przez WMO przyrządem standardowym.

Tab. 9. Rodzaje urządzeń oraz rodzaj stacji i ich liczba. Opracowanie własne.

Rodzaj urządzenia	Rodzaj stacji	Liczba stacji
Aster (TGP-124-H230)	IMGW-PIB	3
MetOne (60030, 60030H)	IMGW-PIB	9
Hellmanna (deszczomierz manualny)	IMGW-PIB	14
HP 1001 Wi-Fi	PWS	5
WS 1001 Wi-Fi	PWS	7



Rodzaj urządzenia	Rodzaj stacji	Liczba stacji
WH 2600	PWS	1
WH 1080	PWS	1
Oregon Scientific WMR 200	PWS	2
Ventus W 830	PWS	1
Netatmo Weather Station	PWS	1
Davis Vantage Vue	PWS	2
Davis Vantage Pro 2	PWS	1
Davis Vantage Pro 2 Plus	PWS	2
Inne	PWS	5

Według danych pochodzących z sieci amatorskich stacji meteorologicznych, na obszarze badań, zidentyfikowano dziesięć różnych rodzajów urządzeń pomiarowych (Tab. 10). Pięć, spośród dwudziestu ośmiu urządzeń nie zostało w sieciach opisanych i zidentyfikowanych. Według informacji pochodzących od producentów amatorskich stacji meteorologicznych, rozdzielczość urządzeń, w zależności od rodzaju, wahała się w granicach od 0,1 mm do 0,3 mm. Dokładność natomiast zawierała się w przedziale od +/- 2% do +/-10% (Tab. 10). Wszystkie zidentyfikowane urządzenia amatorskich stacji meteorologicznych wykorzystywały do pomiaru opadu metodę korytka wywrotnego. Konstrukcja korytek pomiarowych oparta była na prostej zasadzie wagi szalkowej.

Tab. 10. Cechy przyrządów do pomiaru opadu. Opracowanie własne na podstawie specyfikacji technicznych amatorskich stacji meteorologicznych (62) (63) (2) (6) (4) (3).

Rodzaj urządzenia	Dokładność	Rozdzielczość	Metoda pomiarowa
Aster (TGP-124-H230)	+/- 2%	0,1 mm	korytko wywrotne
MetOne (60030, 60030H)	+/- 1%	0,1 mm	korytko wywrotne
Davis Vantage Pro 2 Plus	+/- 3%	0,2 mm	korytko wywrotne
Davis Vantage Pro 2	+/- 3%	0,2 mm	korytko wywrotne
Davis Vantage Vue	+/- 4%	0,2 mm	korytko wywrotne
Oregon Scientific WMR 200	+/- 7%	0,1 mm	korytko wywrotne
HP 1001 Wi-Fi	+/- 10%	0,3 mm	korytko wywrotne
WS 1001 Wi-Fi	+/- 10%	0,3 mm	korytko wywrotne
WH 2600	+/- 10%	0,3 mm	korytko wywrotne
WH 1080	+/- 10%	0,3 mm	korytko wywrotne
Ventus W 830	+/- 10%	0,1 mm	korytko wywrotne
Netatmo Weather Station	+/- 2%	0,1 mm	korytko wywrotne

Sumy dobowe opadów atmosferycznych (Tab. 11) na stacjach z deszczomierzem Hellmanna zostały obliczone jako sumy opadów między godziną 6:00 UTC dnia bieżącego i 6:00 UTC dnia następnego. Zarówno dane opadów (Tab. 11) z automatycznych stacji IMGW-PIB jak i amatorskich stacji meteorologicznych zapisane były w odstępach 5-minutowych w terminie pomiarowym od godziny 0:00 do 24:00 CEST.

Tab. 11. Rozkład dobowej sumy opadów (mm) od godz. 6:00 UTC dnia 27.07.2019 do godz. 6:00 UTC dnia 28.07.2019). Nazwy amatorskich stacji meteorologicznych w kolumnie pierwszej to oryginalne nazwy z sieci Weather Underground. Opracowanie własne.

Nazwa stacji	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Opad w mm	Nazwy stacji na mapie
Katowice PWS IKATOW4	50°15'37"	19°01'58"	94,5	Katowice 5
Katowice-Muchowiec IMGW-PIB	50°14'26"	19°01'58"	78,8	Katowice Muchowiec
Katowice PWS GIG	50°16'17"	19°01'30"	51,2	Katowice 2
Siemianowice Śląskie PWS	50°17'48"	19°01'06"	48,5	Siemianowice Śl. 2
Chorzów PWS ICHORZW6	50°18'03"	18°56'00"	39,9	Chorzów
Świętochłowice Lipiny IMGW-PIB	50°18'44"	18°53'51"	37,8	Świętochłowice Lipiny
Świętochłowice PWS SP2 IWITOCHO9	50°17'24"	18°55'28"	34,5	Świętochłowice
Mysłowice Brzezinka PWS IMYSOWIC12	50°12'15"	19°10'12"	32,3	Mysłowice 1
Sosnowiec PWS ISOSNOWI17	50°17'38"	19°06'23"	30,2	Sosnowiec 1
Katowice Giszowiec PWS IKATOWIC65	50°13'31"	19°03'31"	26,9	Katowice 3
Mysłowice PWS IMYSOW2	50°12'34"	19°05'55"	23,9	Mysłowice 2
Siemianowice Śląskie IMGW-PIB	50°19'31"	19°01'23"	23,6	Siemianowice Śl. 1
Bytom Szombierki PWS IBYTOTM8	50°19'53"	18°53'04"	21,6	Bytom
Czeladź IMGW-PIB	50°19'43"	19°04'55"	16,1	Czeladź

Nazwa stacji	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Opad w mm	Nazwy stacji na mapie
Maczki IMGW-PIB	50°15'31"	19°15'46"	14,2	Maczki
Sosnowiec Juliusz IMGW-PIB	50°15'55"	19°13'08"	14,2	Sosnowiec Juliusz
Będzin Grodziec PWS IU015BLU2	50°20'49"	19°04'47"	13,7	Będzin
Katowice Brynów PWS ILSKIEKA3	50°14'05"	18°59'27"	13,2	Katowice 1
Ruda Śląska Wirek PWS ILSKIERU4	50°15'33"	18°52'06"	13,0	Ruda Śl. 2
Sosnowiec Klimontów PWS NETMAKSOS PWS	50°16'23"	19°11'18"	12,7	Sosnowiec 2
Dąbrowa Górnicza Ratanice PWS IDBROWAG15	50°22'46"	19°11'27"	11,9	Dąbrowa G. 2
Ruda Śląska Bielszowice PWS IU015ALU15	50°16'14"	18°50'33"	11,9	Ruda Śl. 1
Wojkowice PWS IU015ALU9	50°21'50"	19°01'29"	10,4	Wojkowice 2
Mysłowice Dzieńkowice IMGW-PIB	50°10'46"	19°12'24"	8,0	Mysłowice Dzieńkowice
Wojkowice IMGW-PIB	50°22'17"	19°03'27"	7,3	Wojkowice 1
Krupski Młyn IMGW-PIB	50°34'09"	18°37'24"	7,2	Krupski Młyn
Łazy IMGW-PIB	50°25'51"	19°23'03"	5,9	Łazy
Jaworzno PWS IJAWORZN16	50°12'36"	19°14'57"	5,3	Jaworzno
Zabrze Helenka PWS IU015ALU3	50°22'32"	18°48'26"	4,6	Zabrze 2
Orzech PWS IWIERKLA3	50°25'14"	18°55'17"	3,6	Orzech 2
Katowice Zadole PWS IKATOWIC63	50°13'01"	18°57'45"	2,3	Katowice 6
Orzech IMGW-PIB	50°25'25"	18°55'29"	2,2	Orzech 1

Nazwa stacji	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Opad w mm	Nazwy stacji na mapie
Świerklaniec IMGW-PIB	50°25'44"	18°56'33"	1,4	Świerklaniec
Katowice Kostuchna PWS ILSKIEKA5	50°11'46"	18°59'31"	1,3	Katowice 4
Zabrze Grzybowice PWS ILSKIEZA2	50°21'44"	18°46'00"	1,0	Zabrze 1
Piwoń IMGW-PIB	50°29'04"	19°14'42"	0,9	Piwoń
Gliwice PWS IU015BLU11	50°19'18"	18°39'27"	0,8	Gliwice
Pszczyna IMGW-PIB	49°59'44"	18°55'09"	0,7	Pszczyna
Gliwice Łabędy IMGW-PIB	50°20'31"	18°36'55"	0,5	Gliwice Łabędy
Brynica IMGW-PIB	50°28'18"	18°59'56"	0,5	Brynica
Dąbrowa Górnicza Łosień PWS IDBROWAG14	50°21'09"	19°19'39"	0,3	Dąbrowa G. 1
Tychy Mąkołowice PWS ITYCHY7	50°08'56"	18°58'12"	0,3	Tychy 2
Bieruń Stary IMGW-PIB	50°05'03"	19°05'41"	0,0	Bieruń Stary
Rybnik Stodoły IMGW-PIB	50°09'16"	18°28'59"	0,0	Rybnik Stodoły
Tychy IMGW-PIB	50°07'55"	19°00'04"	0,0	Tychy 1
Warszowice IMGW-PIB	49°59'31"	18°42'20"	0,0	Warszowice
Krywałd IMGW-PIB	50°12'37"	18°38'18"	0,0	Krywałd
Stanowice IMGW-PIB	50°08'09"	18°40'12"	0,0	Stanowice
Taciszów IMGW-PIB	50°22'10"	18°32'10"	0,0	Taciszów
Toszek IMGW-PIB	50°27'35"	18°30'46"	0,0	Toszek

Nazwa stacji	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Opad w mm	Nazwy stacji na mapie
Wieszowa IMGW-PIB	50°22'54"	18°46'27"	0,0	Wieszowa
Żory IMGW-PIB	50°03'08"	18°41'12"	0,0	Żory
Ornontowice IU015ALU13	50°10'58"	18°45'30"	0,0	Ornontowice
Pilchowice PWS ILSKIEPI3	50°12'20"	18°34'09"	0,0	Pilchowice

Do obliczenia współczynnika wydajności opadu dla tych stacji automatycznych, które zarejestrowały opad większy od 20 mm zastosowano wzór Chomicza. Wyniki przedstawiono w tabeli (Tab. 13). Po przeanalizowaniu danych opadu ze stacji IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych, obliczonego współczynnika  $\alpha$ , oraz map radarowych, wykonano trzy mapy rozkładu pola opadu. Pierwszą mapę na podstawie danych z telemetrycznych stacji opadowych IMGW-PIB (Rys. 33a), drugą mapę na podstawie danych z telemetrycznych stacji opadowych IMGW-PIB i stacji z deszczomierzem manualnym IMGW-PIB (Rys. 33b). Trzecią mapę opracowano na podstawie danych z telemetrycznych stacji opadowych IMGW-PIB i stacji z deszczomierzem manualnym IMGW-PIB oraz danych z amatorskich stacji meteorologicznych (Rys. 33c). Interpolację wykonano przy użyciu programu QGIS wykorzystując do tego celu model interpolacji TIN (Triangulated Irregular Network). Przeanalizowano zgodność wyników z sytuacją synoptyczną oraz produktem radarowym SRI zbiorczej mapy radarowej, produktów radaru meteorologicznego Ramża oraz systemu RainGRS.

Ostatecznie porównano ze sobą trzy zbiory danych o opadzie pochodzących z różnych źródeł:

1. Stacje IMGW-PIB dla określonych lokalizacji.
2. Amatorskie stacje meteorologiczne dla określonych lokalizacji (innych niż stacje IMGW-PIB).
3. Dane RainGRS, które są dostępne dla lokalizacji obu grup wymienionych wyżej (IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych).

Zaznaczyć należy, że zestawienie w porównaniu wyników interpolacji danych IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych z danymi RainGRS nie miało na celu sprawdzenia

czy wyniki interpolacji mogą dać lepszy obraz rozkładu i intensywności opadu niż dane RainGRS. Celem porównania była jedynie odpowiedź na pytanie, czy wyniki obliczeń oparte o dane IMGW-PIB różnią się od obliczeń opartych jednocześnie o dane IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych. We wszystkich przeprowadzonych interpolacjach zastosowano metodę „leave one out”. Dane RainGRS są natomiast generowane przy wykorzystaniu pomiarów wykonanych na wszystkich stacjach i dlatego te zestawy nie powinny być traktowane jako alternatywa (64).

Celem badań było ustalenie, które z trzech źródeł danych w lepszym stopniu dopasowane może być do opadu obserwowanego na stacjach IMGW-PIB. Dlatego dokonano następujących porównań:

- a. Dane punktowe IMGW-PIB - dane interpolowane IMGW-PIB.
- b. Dane punktowe IMGW-PIB - dane interpolowane IMGW-PIB i amatorskie stacje meteorologiczne.
- c. Dane punktowe IMGW-PIB - dane RainGRS.

O ile na potrzeby punktu (c) nie było konieczne przetwarzanie danych w celu ich porównań, to na potrzeby punktów (a) i (b) należało wykonać interpolację danych punktowych. Interpolacja miała pozwolić na wykonanie walidacji krzyżowej (65) (66) (67) użyteczności danych IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych. Walidacja ta przeprowadzona została metodą „leave one out”, co oznacza, że przy generowaniu danych o natężeniu opadu (proces nazywany „trenowaniem modelu”) do porównania z wynikiem obserwowanym na danej stacji (proces nazywany „testowaniem modelu”), ta właśnie stacja nie była używana w procesie generowania danych.

Przyjęto założenie, że metoda interpolacji w istotnym stopniu może wpłynąć na wynik porównania i odpowiedź na pytanie, który zestaw danych w lepszym stopniu odzwierciedlać może natężenie opadu obserwowane na stacjach IMGW-PIB. Dlatego interpolację wykonano metodami IDW (Inverse Distance Weightening) oraz krigingu (68) (69) (70). Poniżej przedstawiono podstawowe założenia obu metod.

#### 1. IDW.

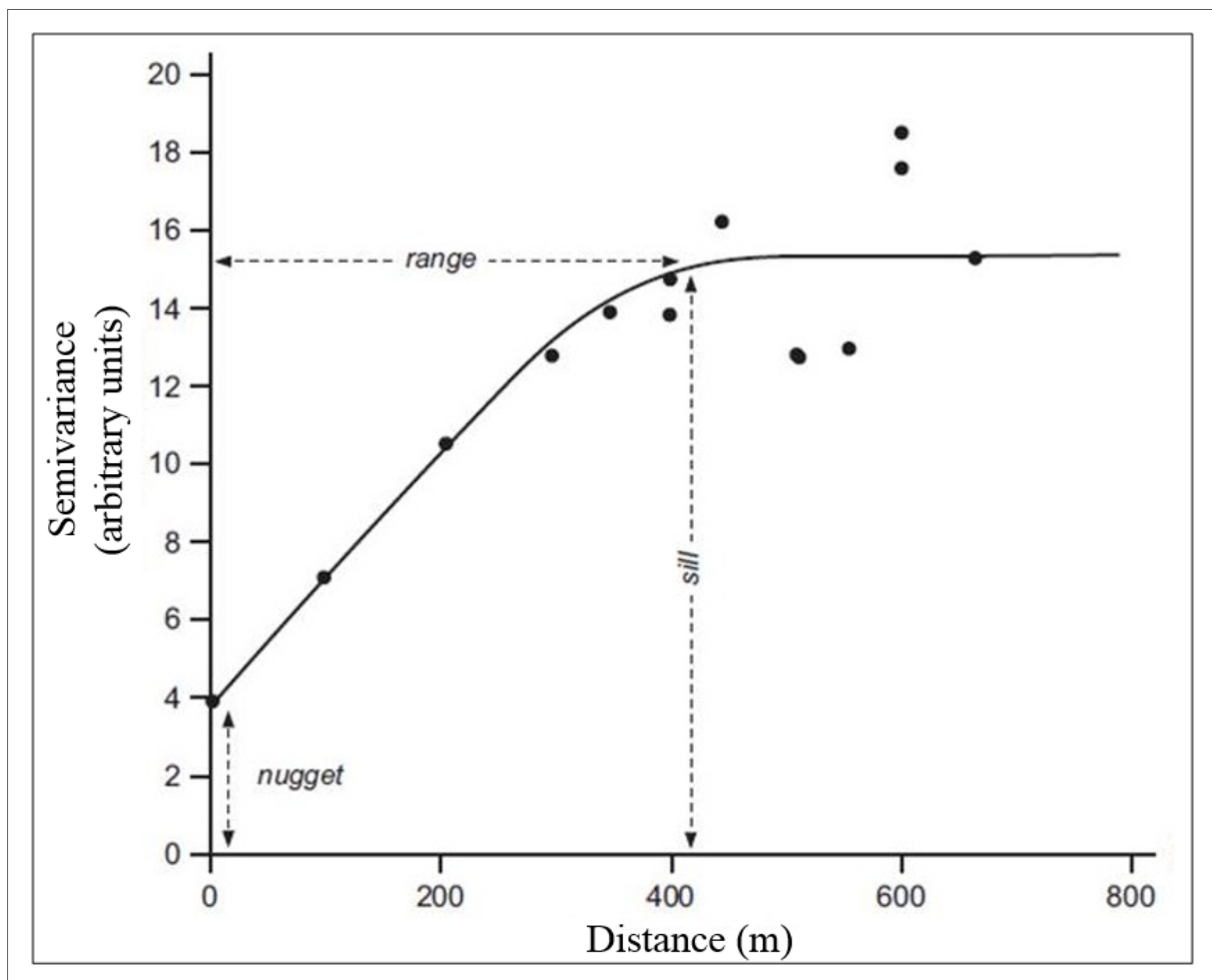
- a. Metoda IDW nie ekstrapoluje wartości obserwowanych poza zakres minimum - maksimum z obserwacji.
- b. Ustalamy liczbę najbliższych punktów branych pod uwagę przy interpolacji i dodatkowo odległość, w której te punkty mają być szukane lub ustalamy odległość

szukania punktów i dodatkowo (opcjonalnie) minimalną liczbę punktów. Jeżeli w tej odległości minimalna liczba nie będzie osiągnięta, to zasięg poszukiwań jest zwiększany.

c. Ustalamy wagę (0 - 3). Im wyższa waga, tym większy wpływ najbliższych punktów.

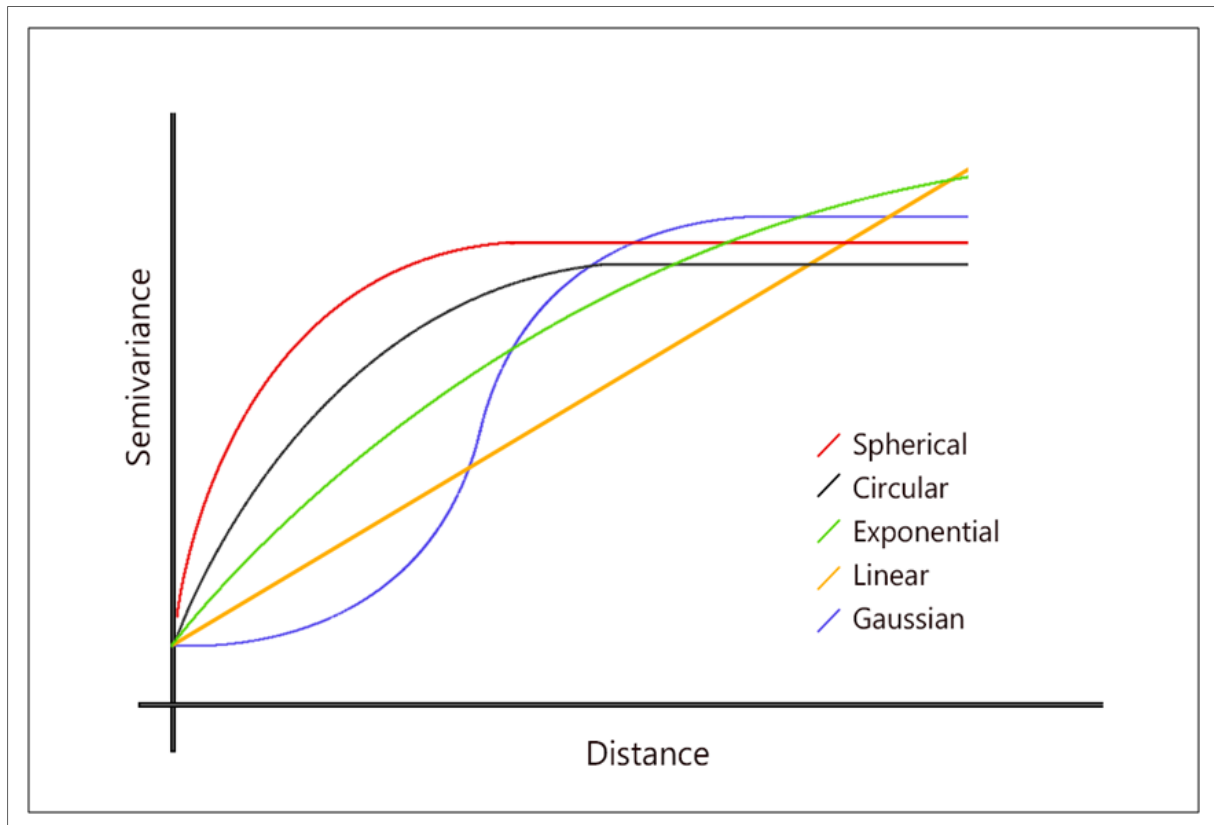
## 2. Kriging.

a. Działa podobnie do IDW, ale tutaj wagi nadawane poszczególnym punktom (obserwacjom) nie wynikają jedynie z odległości od miejsca, dla którego szukamy wartości. Waga zależy też od modelu (funkcji) opisującego wartości punktów z obserwacjami. W pierwszym etapie krigingu obliczany jest semiwariogram, czyli połowa średniokwadratowego błędu pomiędzy wszystkimi parami punktów z danymi obserwacjami ( $\text{Semivariogram}(\text{distanceh}) = 0.5 * \text{average}((\text{valuei} - \text{valuej})^2)$ ).



Rys. 31. Teoretyczny wykładniczy model półwariogramowy z odpowiednimi parametrami. Nugget: zmienność cechy niezależna od odległości (np. naturalne zróżnicowanie lub błędy pomiarowe), sill: całkowita zmienność cechy, range: odległość, w której zmiana cechy jest skorelowana z odległością. (źródło grafiki: <https://www.aspexit.com/en/variogram-and-spatial-autocorrelation>) (71).

- b. Semiwariogram jest wyznaczany osobno dla grup punktów, pomiędzy którymi odległość mieści się w określonych przedziałach. Im odległość mniejsza, tym mniejszy powinien też być błąd kwadratowy (różnica) pomiędzy obserwacjami (Rys. 31).
- c. Na podstawie błędów średniokwadratowych obliczonych dla różnych odległości, program stara się dobrać funkcję przedstawiającą zmienność za pomocą krzywej. Dobiera parametry krzywej, ale użytkownik musi wskazać typ tej krzywej (wykładnicza, sferyczna, Gaussa, liniowa) (Rys. 32).



Rys. 32. Najczęstsze teoretyczne modele wariogramowe. (źródło grafiki: <https://www.aspexit.com/en/variogram-and-spatial-autocorrelation>) (71).

- d. Ustalamy liczbę najbliższych punktów branych pod uwagę przy interpolacji i dodatkowo odległość, w której te punkty mają być szukane lub ustalamy odległość szukania punktów i dodatkowo (opcjonalnie) minimalną liczbę punktów. Jeżeli w tej odległości minimalna liczba nie będzie osiągnięta, to zasięg poszukiwań jest zwiększany.

Dla metody IDW przyjęto następujące parametry:

- Liczba najbliższych punktów branych pod uwagę przy interpolacji:
  - 5 - 11 dla interpolacji danych punktowych IMGW-PIB.



- 5 - 38 dla interpolacji danych punktowych IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych.

1. Waga:

- 1,5.
- 2.
- 2,5.

Dla metody krugingu przyjęto następujące parametry:

- Liczba najbliższych punktów branych pod uwagę przy interpolacji:
  - 5 - 11 dla interpolacji danych punktowych IMGW-PIB.
  - 5 - 38 dla interpolacji danych punktowych IMGW-PIB i amatorskich stacji meteorologicznych.
- Kształt semiwariogramu:
  - Kołowy.
- Średnie parametry semiwariogramu wyznaczone na podstawie interpolowanych danych:
  - $c_0$  (nugget) = 0.
  - $c$  (still-nugget) = 970.
  - $a$  (range) = 3700.
  - sill = 970.

Łącznie na potrzeby analiz wykonano 1970 interpolowanych map, przy użyciu różnych metod i liczby interpolowanych punktów. Każda mapa posłużyła do obliczenia jedynie jednej wartości liczbowej dla punktu usuniętego ze zbioru interpolowanych zgodnie z założeniem metody „leave one out”. Na podstawie 1970 map przygotowano 164 zestawy danych, które można było porównać z opadem obserwowanym na dwunastu stacjach IMGW-PIB.

Trzy dane z deszczomierzy IMGW-PIB oraz inne porównywane zbiory danych (interpolowany IMGW-PIB, interpolowany IMGW-PIB + PWS i RainGRS), analizowano za pomocą tablic kontyngencji. Cztery zmienne w tych tablicach to:

- a. Liczba zdarzeń, w których zarówno deszczomierz IMGW-PIB, jak i inny pozostałe zbiory danych identyfikują zdarzenie opadowe.
- b. Liczba zdarzeń, w których deszczomierz IMGW-PIB nie wykazuje zdarzenia opadowego, ale porównywany zbiór danych błędnie wskazuje na istnienie zdarzenia opadowego.
- c. Liczba zdarzeń, w których wodowskaz IMGW-PIB wykrył zdarzenie opadowe, ale porównywany zbiór danych nie wykrył zdarzenia opadowego.

- d. Liczba zdarzeń, w których zarówno deszczomierz IMGW-PIB, jak i inny zbiór danych nie identyfikują zdarzenia opadowego.

Przykład tabeli kontyngencji przedstawiono w tabeli (Tab. 12).

Tab. 12. Przykład tabeli kontyngencji (72).

Przykład		Obserwowany opad deszczu	
		Tak	Nie
Szacunkowy opad	Tak	a	b
	Nie	c	d

Wykorzystując zmienne z tablic kontyngencji można ocenić dokładność detekcji opadów w kategoriach współczynnika trafienia "H", prawdopodobieństwa detekcji "POD", współczynnika fałszywych alarmów "FAR" oraz błędu dyskretnego "DB". Współczynnik trafienia (H) jest to ułamek przypadków braku estymacji, w których estymacja prawidłowo określa wystąpienie zdarzenia opadowego lub jego brak.

$$H = \frac{a + d}{n} \quad (7)$$

Prawdopodobieństwo wykrycia (POD) to prawdopodobieństwo, że zdarzenie zostałoby oszacowane, biorąc pod uwagę, że wystąpiło.

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (8)$$

Wskaźnik fałszywych alarmów (FAR) to odsetek szacowanych zdarzeń opadowych, które nie urzeczywistniają się.

$$FAR = \frac{b}{a + b} \quad (9)$$

Bias to stosunek liczby szacowanych zdarzeń opadowych do liczby zdarzeń obserwowanych.

$$DB = \frac{a + b}{a + c} \quad (10)$$

Wskaźnikami oceny dokładności estymacji opadów są: współczynnik korelacji (R), współczynnik Nasha-Sutcliffe'a (NSE), błąd procentowy (Percent Bias), błąd średniokwadratowy (RMSE) i znormalizowany błąd (NBIAS).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_t} (G_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_t} (R_i - \text{avg}R)^2} \quad (11)$$

Współczynnik Nasha-Sutcliffe'a może przyjmować wartości z przedziału  $(-\infty; 1>)$ . Gdy  $NS = 1$ , wówczas wyniki modelowania są dokładnie dopasowane do wartości zaobserwowanych (rzeczywistych). Gdy  $NS = 0$ , wyniki modelowania w takim samym stopniu przybliżają poszczególne wartości rzeczywiste, jak średnia wartość rzeczywista. Gdy współczynnik przyjmuje wartości ujemne oznacza to, że średnia wartość rzeczywista w większym stopniu przybliży poszczególne wartości rzeczywiste niż wynika to z wartości obliczanych przez model.

$$PBias = 100 \frac{\sum_{i=1}^{N_t} G_i - R_i}{\sum_{i=1}^{N_t} R_i} \quad (12)$$

$$RMSE = \left( \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} (G_i - R_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$NBIAS = \frac{\left( \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} (G_i - R_i) \right)}{\frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} G_i} \quad (14)$$

gdzie:

$N_t$  to liczba rekordów (pomiarów).

$G_i$  jest wartością natężenia opadu deszczu opartą na deszczomierzu.

$R_i$  jest odpowiadającą jej szacunkową wartością natężenia deszczu.

W województwie śląskim w sieci IMGW-PIB istnieje 49 stacji z funkcją telemetryczną. Na tym samym obszarze liczba amatorskich stacji jest 3,6 razy większa i wynosi 177 stacje. Powierzchnia obszaru poddanego analizie (Rys. 30) wynosi 1518 km<sup>2</sup>. Gęstość rozmieszczenia

amatorskich stacji meteorologicznych na tym obszarze równa jest 1,7 stacji na 100 km<sup>2</sup> i 0,33 stacji IMGW-PIB z funkcją telemetryczną na 100 km<sup>2</sup>.

27 lipca 2019 roku na obszarze wystąpienia opadu nawalnego największą sumę dobową opadu zarejestrowała amatorska stacja w Katowicach (Tab. 11, 13). Opad ten był wyższy od zarejestrowanego przez stację IMGW-PIB Katowice-Muchowiec z funkcją telemetryczną o 15,7 mm. Pozostałe stacje IMGW-PIB z funkcją telemetryczną nie zarejestrowały opadu dobowego przekraczającego 20 mm. Opady dobowe przekraczające 20 mm notowane były jedynie przez amatorskie stacje meteorologiczne.

Tab. 13. Dobowe sumy z opadem atmosferycznym powyżej 20 mm z dnia 27.07.2019 r. oraz wyliczony współczynnik wydajności  $\alpha$  (stacje telemetryczne IMGW-PIB i amatorskie stacje meteorologiczne). Opracowanie własne.

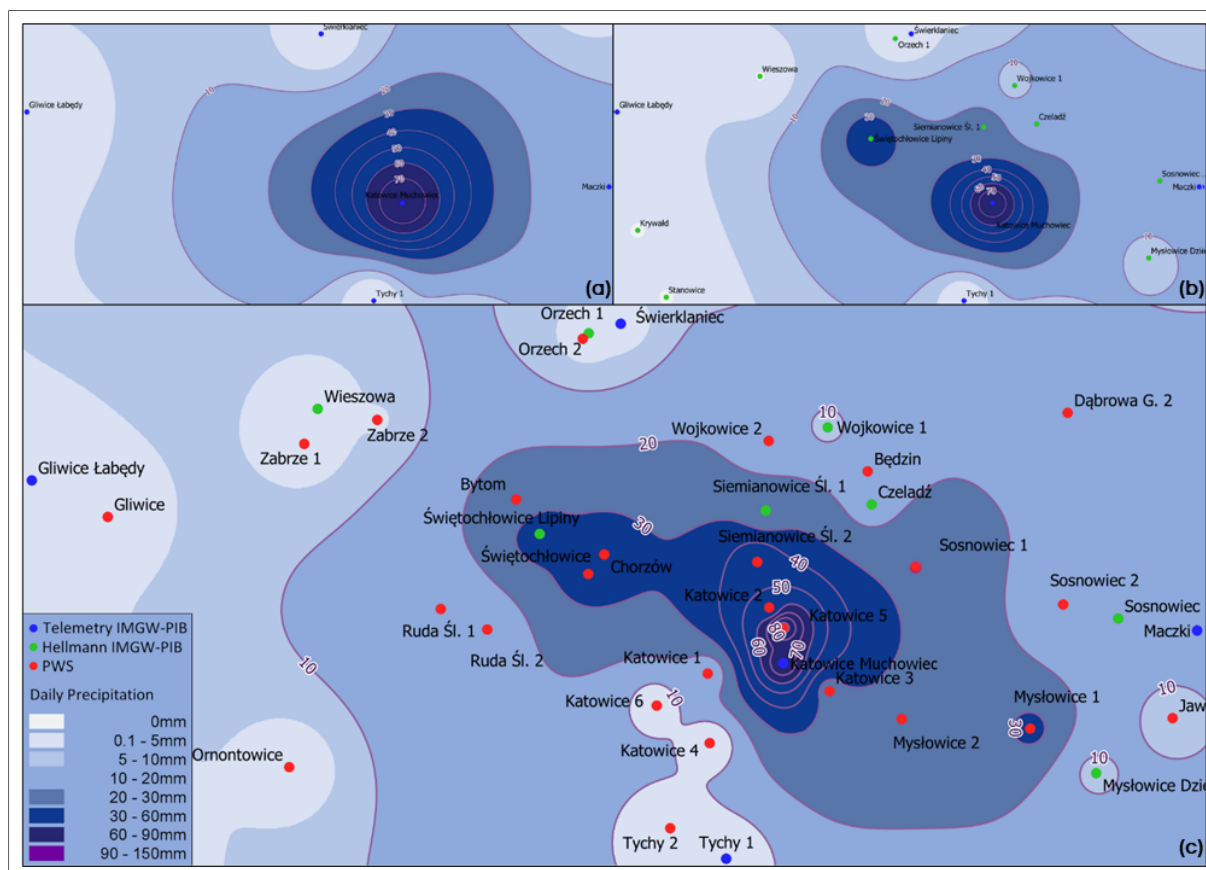
Stacja meteorologiczna	Opad (suma) mm	Współczynnik wydajności opadu $\alpha$
Katowice 5 (PWS)	94,5 mm	11,50
Katowice Muchowiec (IMGW-PIB)	78,8 mm	8,60
Katowice 2 (PWS)	51,2 mm	6,43
Siemianowice Śl. 2 (PWS)	48,5 mm	5,74
Chorzów (PWS)	39,9 mm	4,53
Świętochłowice (PWS)	34,5 mm	3,94
Mysłowice 1 (PWS)	32,3 mm	4,17
Sosnowiec 1 (PWS)	30,2 mm	2,43
Katowice 3 (PWS)	26,9 mm	2,69
Mysłowice 2 (PWS)	23,9 mm	2,95
Bytom (PWS)	21,6 mm	2,59

Współczynnik wydajności opadu  $\alpha$  dla amatorskich stacji meteorologicznych Sosnowiec 1, Bytom oraz Katowice 3 klasyfikują zanotowane tam opady jako deszcze ulewne II stopnia A<sub>2</sub>. Na amatorskich stacjach meteorologicznych Świętochłowice i Mysłowice 2 wystąpiły deszcze ulewne III stopnia A<sub>3</sub>, na stacjach Mysłowice 1 i Chorzów - deszcze ulewne IV stopnia A<sub>4</sub>. Na stacjach Siemianowice Śl. 2 i Katowice 2 wystąpiły deszcze nawalne I stopnia B<sub>2</sub>. Na stacjach IMGW-PIB Katowice-Muchowiec z funkcją telemetryczną wystąpił deszcz nawalny II stopnia B<sub>2</sub>. Największy współczynnik wydajności opadu  $\alpha$  wyniósł 11,50 dla amatorskiej stacji meteorologicznej Katowice 5, co klasyfikuje ten opad jako deszcz nawalny III stopnia B<sub>3</sub>.

Tab. 14. Dobowe sumy z opadem atmosferycznym powyżej 20 mm z dnia 27.07.2019 r. (stacje z deszczomierzem manualnym Hellmanna IMGW-PIB). Dla tego deszczomierza dobową sumę opadu odnosi się do tzw. doby opadowej tj. okresu od godz. 6:00 UTC dnia bieżącego do godz. 6:00 UTC dnia następnego. Opracowanie własne.

Stacja meteorologiczna	Opad (suma) mm
Świętochłowice Lipiny (IMGW-PIB)	37,8
Siemianowice Śl. (IMGW-PIB)	23,6

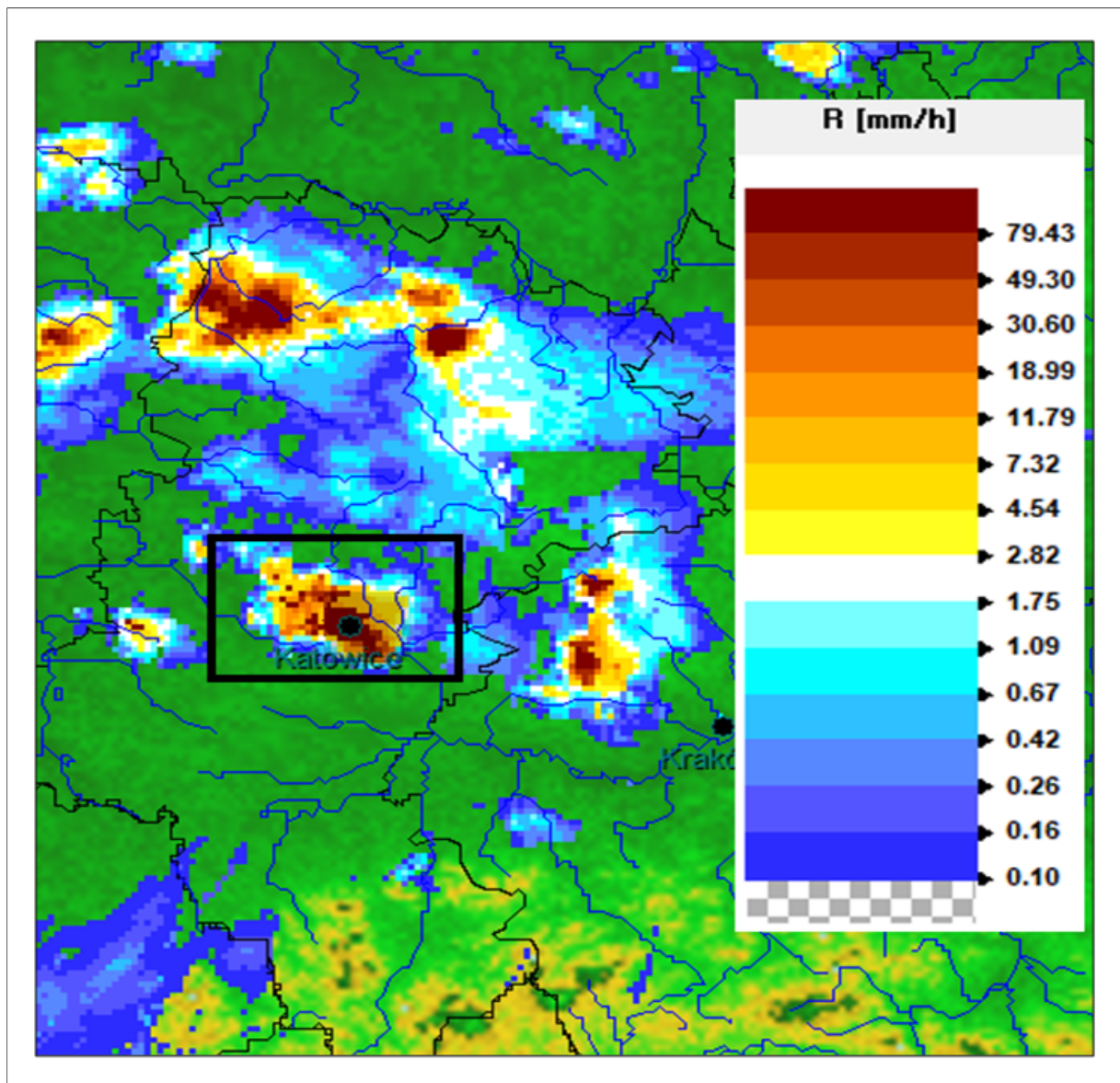
Spośród wszystkich stacji IMGW-PIB wyposażonych w deszczomierz manualny Hellmanna dwie stacje zanotowały opad dobowy większy od 20 mm (Tab. 14). Największy opad dobowy wystąpił na stacji IMGW-PIB Świętochłowice Lipiny. Był mniejszy od opadu dobowego zarejestrowanego przez amatorską stację meteorologiczną Katowice 5 o 56,7 mm i mniejszy od opadu zarejestrowanego przez stację IMGW-PIB Katowice-Muchowiec z funkcją telemetryczną o 41,0 mm.



Rys. 33. Interpolacja pola opadu: (a) stacje telemetryczne IMGW-PIB, (b) stacje telemetryczne IMGW-PIB i stacje z deszczomierzem Hellmanna, (c) stacje telemetryczne IMGW-PIB i stacje z deszczomierzem Hellmanna oraz amatorskie stacje meteorologiczne. Opracowanie własne.

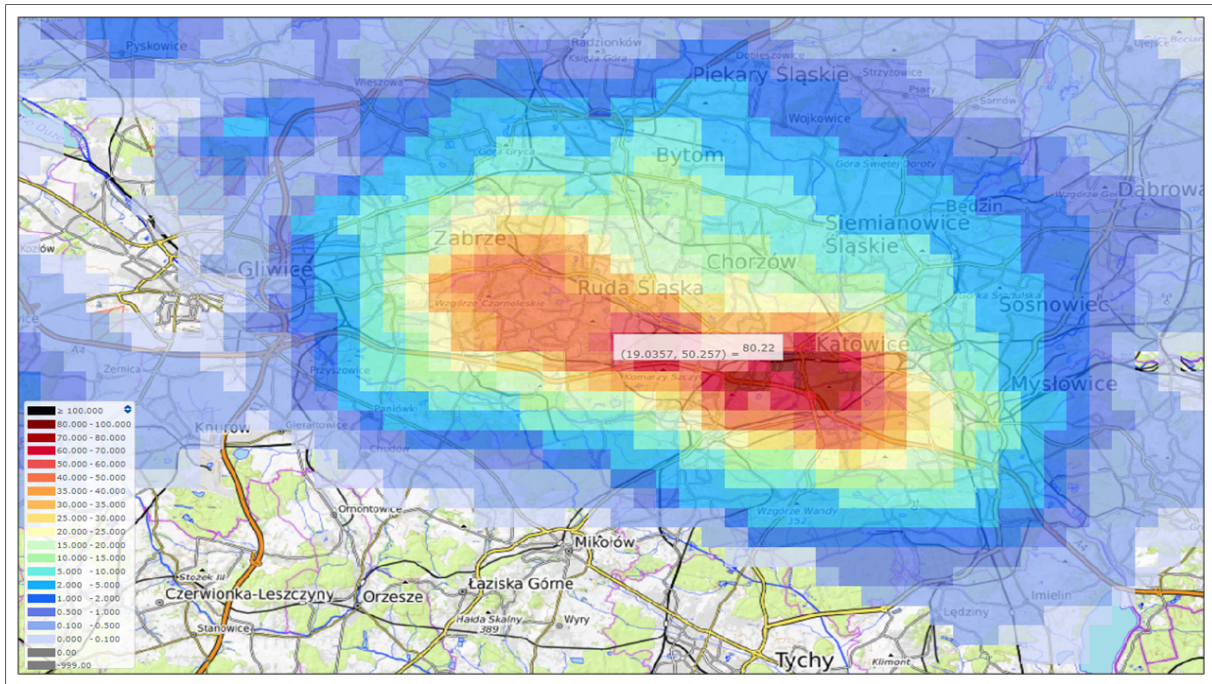
Produkt radarowy SRI zbiorczej mapy radarowej (Rys. 34) wykazał, iż chwilowe natężenie opadu wskazywane przez radar osiągnęło w okolicy stacji IMGW-PIB Katowice-

Muchowiec maksymalnie 304 mm/h (źródło danych: IMGW-PIB, SRI – natężenie opadów przy ziemi wyliczone z uwzględnieniem orografii terenu jest przeliczane wg przyjętej zależności odbiciowości radarowej na natężenie opadu).



Rys. 34. Natężenie opadów atmosferycznych o godzinie 15.30 CEST wg SRI zbiorczej mapy radarowej. Źródło: zbiory IMGW-PIB (58).

Opad pomierzony przez amatorską stację meteorologiczną Katowice 5, który wystąpił między godziną 15:00 a 16:00 CEST (czas środkowoeuropejski letni) wyniósł 80 mm i potwierdzony został przez dane godzinne z systemu RainGRS (Rys. 35).



Rys. 35. Opad godzinny (15:00 - 16:00 CEST) zarejestrowany przez system RainGRS. (73).

Wyniki porównania obserwacji IMGW-PIB z opadem wygenerowanym różnymi metodami przedstawiono w tabeli (Tab. 15). Przeprowadzone analizy wykazały, że użycie dodatkowo danych z amatorskich stacji meteorologicznych znacznie wpływa na poprawę dopasowania wyników obliczenia opadu do wartości obserwowanych. Potwierdza to między innymi wzrost wartości parametru Hit Rate z wartości 0,42 (najwyższa wartość uzyskana w 28 różnych interpolacjach danych IMGW-PIB) do wartości 0,67 (najwyższa wartość uzyskana w 136 interpolacjach danych amatorskich stacji meteorologicznych i IMGW-PIB).

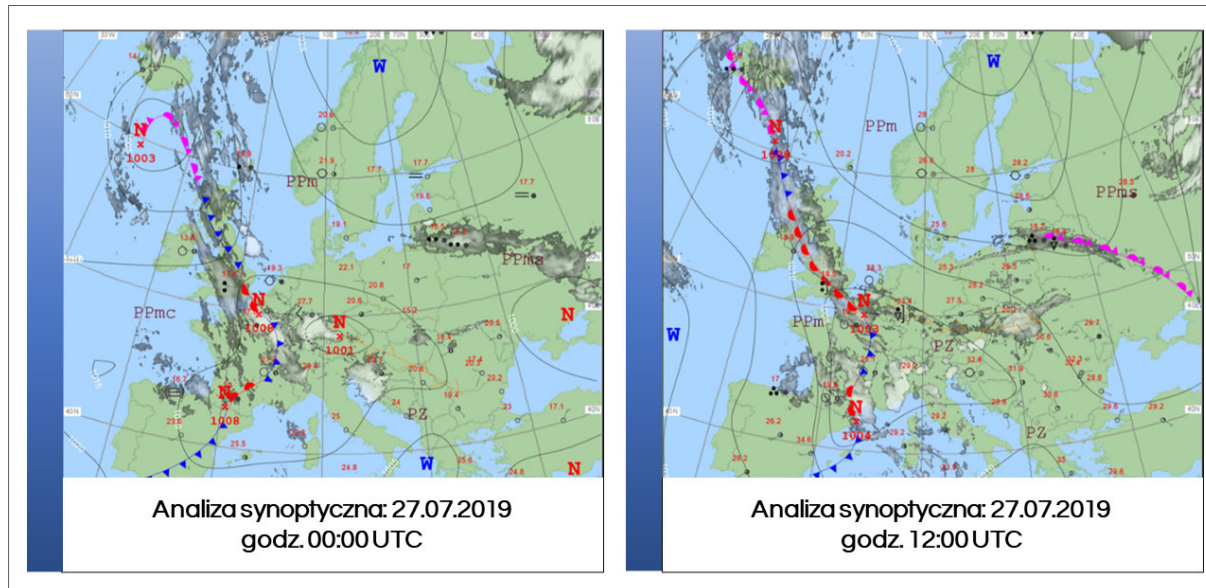
Tab. 15. Wyniki porównania obserwacji IMGW-PIB z opadem wygenerowanym różnymi metodami. Opracowanie własne.

Dane	Metoda	GRS	IMGW-PIB			PWS + IMGW-PIB			IMGW-PIB			PWS + IMGW-PIB		
			Wszystkie	Kriging	IDW	Wszystkie	Kriging	IDW	Wszystkie	Kriging	IDW	Wszystkie	Kriging	IDW
			Średnia z wszystkich interpolacji						Wyniki najlepszej interpolacji					
Contingency table	a	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	b	0	7	7	7	6,76	6,82	6,74	7	7	7	4	5	4
	c	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	d	7	0	0	0	0,24	0,18	0,26	0	0	0	3	2	3
H	0,83	0,42	0,42	0,42	0,44	0,43	0,44	0,42	0,42	0,42	0,67	0,58	0,67	
POD	0,60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
FAR	0,00	0,58	0,58	0,58	0,57	0,58	0,57	0,58	0,58	0,58	0,44	0,50	0,44	
BIAS	0,60	2,40	2,40	2,40	2,35	2,36	2,35	2,40	2,40	2,40	1,80	2,00	1,80	

Dane		IMGW-PIB			PWS + IMGW-PIB			IMGW-PIB			PWS + IMGW-PIB		
Metoda	GRS	Wszystkie	Kriging	IDW	Wszystkie	Metoda		Wszystkie	Kriging	IDW	Wszystkie	Metoda	
		Średnia z wszystkich interpolacji						Wyniki najlepszej interpolacji					
		% bias	-8,45	43,27	50,48	40,86	71,54	106,42	59,91	19,83	19,83	25,35	-1,23
RMSE	5,50	73,94	73,45	74,11	44,29	63,61	37,86	70,83	70,83	72,06	20,43	34,71	20,43
NSE	0,99	-0,35	-0,33	-0,36	0,47	-0,02	0,63	-0,24	-0,24	-0,28	0,90	0,70	0,90
R	1,00	-0,62	-1,00	-0,49	0,74	0,09	0,96	-0,38	-0,99	-0,38	1,00	0,99	1,00
NBIAS	2,69	-13,77	-16,07	-13,01	-22,77	-33,87	-19,07	-6,31	-6,31	-8,07	-1,05	1,06	-1,05

Podobne, istotne zmiany można zauważyć w przypadku parametrów RMSE i NSE, których wartości zmieniają się przy użyciu dodatkowych danych z amatorskich stacji meteorologicznych z 70,83 na 20,43 i z -0,24 na 0,9.

27 lipca 2019 roku południowy obszar Polski znajdował się pod wpływem niżu nad Niemiec. Na północy zalegało chłodne powietrze polarne morskie, a od południa napływało gorące powietrze zwrotnikowe (Rys. 36).



Rys. 36. Sytuacja synoptyczna w dniu 27 lipca 2019 roku o godzinie 0:00 UTC i 12:00 UTC. (74).

Nad analizowanym obszarem utworzyła się linia zbieżności, w której to strefie panowały warunki sprzyjające rozwojowi burz. W rejonie Katowic zachmurzenie było zmienne z przewagą umiarkowanego i dużego, głównie przez chmury piętra niskiego: Cumulus i Stratocumulus oraz chmury piętra średniego Altocumulus. Popołudniu do godzin wieczornych



przemieszczały się chmury kłębiaste o dużej rozciągłości pionowej - Cumulonimbus capillatus. Wielokrotnie również występowały burze. Stacja synoptyczna IMGW-PIB Katowice-Muchowiec rejestrowała burze w godzinach od 14:58 do 16:19 CEST oraz od 16:56 do 17:27 CEST. Opady deszczu o najsilniejszym natężeniu notowane były na stacji od godziny 14:58 do 16:14 CEST.

Czas wystąpienia najintensywniejszej fazy opadu zarejestrowany przez amatorskie stacje meteorologiczne zbiega się z czasem wystąpienia odnotowanym na stacji synoptycznej IMGW-PIB Katowice-Muchowiec i obejmował godziny od 15:00 do 16:30 CEST. Analiza produktów radarowych SRI zbiorczej mapy radarowej oraz porównanie opadów z danymi z systemu RainGRS potwierdziła, iż na obszarze Katowic, w najgwałtowniejszej fazie burzy, natężenie opadu mogło mieć charakter deszczu nawalnego III stopnia (B<sub>3</sub>). Taka właśnie wartość współczynnika wydajności opadu  $\alpha$  obliczona została dla stacji PWS Katowice 5. Dodatkowo dane dotyczące sumy opadu dobowego na stacji IMGW-PIB pochodzące z deszczomierza manualnego, potwierdziły opad, który wystąpił na pobliskich amatorskich stacjach meteorologicznych.

## **6. Możliwość oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych na podstawie dokumentacji technicznej.**

Porównanie jakości i wydajności dostępnych na rynku amatorskich stacji meteorologicznych może zostać przeprowadzone z wykorzystaniem publicznie dostępnych informacji, takich jak broszury i strony internetowe producentów. Termin amatorskie stacje meteorologiczne odnosi się do dostępnych na rynku stacji pogodowych, które zawierają większość czujników pomiarowych w jednym urządzeniu. Zazwyczaj systemy te zawierają osłonę z czujnikiem temperatury, wilgotności względnej, ciśnienia oraz prędkości i kierunku wiatru. Niektóre pokazują również występowanie deszczu, wielkość lub intensywność opadów oraz napromieniowanie słoneczne. Mogą również posiadać dodatkowe czujniki, takie jak na przykład wilgotności i temperatury gleby.

Typowa amatorska stacja zwykle składa się z wymiennych czujników zamontowanych na trójnogu lub maszcie. Wymienny charakter czujników utrudnia w znacznym stopniu ich analizę, ponieważ nabywca ma możliwość wyboru różnych producentów tego samego czujnika.

Kluczowym zagadnieniem oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych powinny być różnice między specyfikacją producenta a kryteriami wymienionymi w Podręczniku po instrumentach i metodach obserwacji (WMO-nr 8) (75)

Kluczowym zagadnieniem są także różnice między specyfikacją producenta a kryteriami wymienionymi w Podręczniku WMO. Zestawienie kryteriów przedstawiono w tabeli (Tab. 16) (75).

Tab. 16. Kryteria stosowane do oceny automatycznych, amatorskich stacji meteorologicznych (75).

	Temperatura (°C lub K)	Wilgotność względna (%)	Ciśnienie (hPa)	Opad deszczu (%)	Prędkość wiatru (%)	Kierunek wiatru (°)
Klasa 1	0,2	3	0,15	2	10	5
Klasa 2	0,5	5	0,3	5	30	10
Klasa 3	1	5	1	15	50	15
Klasa 4	2	10	1,5	25	50	22
Klasa 5	5	15	3	100	>50	>20
	(°C lub K)	(%)	(hPa)	(mm)	(SM)	(°)
Zakres (min.)	-80	0	500	0	0	0
Zakres (maks.)	60	100	1080	500	75	360
Rozdzielczość	0,1	1	0,1	0,1	0,5	1

W wyniku przeprowadzonych analiz informacji dostarczanych przez producentów stwierdzono, że informacje znacznie różniły się między sobą, zarówno pod względem charakteru jak i treści. Najczęstszym źródłem informacji były strony internetowe producentów, na których ogólnie dostępne są broszury i instrukcje techniczne. Podjęto więc próbę przeszukania szeregu kluczowych informacji jednego producenta popularnych w Polsce stacji meteorologicznych - Davis. Obejmowały one:

- maksymalny i minimalny zakres temperatur pracy;
- maksymalny i minimalny zakres temperatur pomiaru;
- rozdzielczość;
- stałą czasową pomiaru;
- roczny dryft;
- współczynnik wrażliwości na temperaturę;
- niepewność w określonym zakresie operacyjnym;

- próg;
- strefę martwą;
- materiały konstrukcyjne, w szczególności osłony;
- wymiary i układ wszystkich urządzeń stacji.

Jeśli informacje dotyczące któregoś z powyższych parametrów nie były dostępne, dokonano oszacowań na podstawie innych dostarczonych informacji. Dla niektórych typów stacji Davis nie było dostępnych szczegółowych informacji dotyczących ich wrażliwości na temperaturę.

Do analizy zostało wybranych dziesięć kryteriów, które można rozpatrywać pojedynczo lub zestawić w jedną ocenę. Kryteria te obejmują następujące elementy (Tab. 17).

Tab. 17. Kryteria oceny amatorskich stacji meteorologicznych. Opracowanie własne na podstawie (75).

Kryterium funkcjonalności	Opis	Ocena
Zakres	Całkowita zgodność z wymaganymi zakresami roboczymi dla wszystkich parametrów	od 0 do 5
Działanie	Jaka jest ogólna zgodność czujników ze specyfikacją?	od 0 do 10
Dryft	Całkowita ocena dryftu poszczególnych parametrów względem specyfikacji	od 0 do 5
Kryterium jakości	Opis	Ocena
Identyfikowalność	Jak jest jakość pomiaru, czy producent posiada akredytację ISO, jaki rodzaj systemu jakości prowadzi, jak długo działa i jaki jest poziom dokumentacji?	od 0 do 4
Jakość produktu	Jak jest jakość wytwarzanego produktu? Szacowana na podstawie stosowanego systemu zarządzania jakością, kompletności dostarczonej dokumentacji oraz okresu gwarancji.	od 0 do 5

Kryterium funkcjonalności	Opis	Ocena
Modułowość	Czy czujniki można regulować i czy są one wymienne?	od 0 do 2
Testowalność	Czy urządzenie może być kalibrowane przez użytkownika?	od 0 do 3
Kryterium lokalizacji	Opis	Ocena
Wielkość próbki	Jak blisko ściany osłony znajduje się czujnik temperatury lub wilgotności? Im mniejsza wartość, tym większy wpływ nagrzewania się osłony na czujnik temperatury.	od 0 do 5
Wielkość osłony	Jaka jest objętość osłony w porównaniu do jej powierzchni? Wpływa to na dokładność pomiaru temperatury. Im większy stosunek objętości do powierzchni, tym mniej nagrzewa się czujnik.	od 0 do 5
Źródło ciepła	Czy w pobliżu osłony znajdują się jakieś przedmioty, które mogą stanowić źródło ciepła?	od 0 do 5
Wysokość	Czy wysokości czujników są zgodne z wytycznymi WMO?	od 0 do 5
Lokalizacja	Jak lokalizacja czujników amatorskiej stacji meteorologicznej jest zgodna z wytycznymi WMO. Pod uwagę brane były takie kwestie, jak zacienienie, asymetria i konstrukcja, które mogą wpływać na interakcje między czujnikami.	od 0 do 5

Jak już wspomniano, nie wszystkie karty techniczne zawierały informacje wymagane do przeprowadzenia analizy, dlatego do oceny wybrano tylko jednego producenta, którego informacje były najpełniejsze. Pozostałe analizy mogą zostać wykonane w przypadku, gdy

producenci dostarczają brakującą dokumentację. Analizując poszczególne informacje różnych producentów amatorskich stacji meteorologicznych napotkano problem braku szczegółowych informacji o ogólnej dokładności lub niepewności pomiarów. Często podawano liczby bez żadnego wyjaśnienia ich znaczenia. Czy była to dokładność elementu pomiarowego, czujnika czy wartość uśredniona w czasie? Wartości często dotyczyły czujnika pomiarowego bez uwzględnienia obudowy jego elektroniki.

Kluczową kwestią do rozważenia przy badaniu przyrządów pomiarowych amatorskich stacji meteorologicznych jest rozmiar osłony. Im mniejszy stosunek objętości do powierzchni, tym większy istnieje wpływ na nagrzewanie się czujnika, podobnie jak to, że mała osłona wywiera większy wpływ na temperaturę. Większość osłon amatorskich stacji meteorologicznych jest mała, przez co mają tendencję do nagrzewania się.

Tab. 18. Ocena amatorskich stacji meteorologicznych wg kryteriów klasy 2. Opracowanie własne.

Model	Temperatura - spec. 0,5°C	Wilgotność względna - spec. 5%	Cisnienie - spec. 0,3hPa	Deszcz – spec. 5%	Prędkość wiatru - spec. 30%	Kierunek wiatru - spec. 10°	Działanie	Źródło ciepła	Konstrukcja i rozmiar osłony	Wysokość	Lokalizacja
Specyfikacja	0,50	5,00	0,30	5,00	30,00	10,00	10,30	0,00	0,30	0,90	0,00
Davis VP2 6152	-2,27	4,74	-1,12	-9,62	16,69	4,19	4,84	0,00	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6162	-2,27	4,74	-1,12	-9,62	16,69	4,19	4,84	0,00	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6163	-1,05	4,74	-1,12	-9,62	16,69	4,19	5,13	0,00	0,41	2,96	3,00
Davis Vantage Vue	-2,27	4,74	-1,12	-10,25	16,69	4,19	4,80	-4,48	-2,43	2,96	-3,40

Tab. 19. Ocena amatorskich stacji meteorologicznych wg kryteriów klasy 3. Opracowanie własne.

Model	Temperatura - spec. 1°C	Wilgotność względna - spec. 5%	Ciśnienie - spec. 1hPa	Deszcz – spec. 15%	Prędkość wiatru - spec. 50%	Kierunek wiatru - spec. 15°	Działanie	Źródło ciepła	Konstrukcja i rozmiar osłony	Wysokość	Lokalizacja
Specyfikacja	1,0	5,00	1,00	15,00	50,00	15,00	5,30	0,00	0,30	0,90	0,00
Davis VP2 6152	-2,27	3,54	-1,12	9,62	16,69	4,19	5,01	0,00	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6162	-2,27	3,54	-1,12	9,62	16,69	4,19	5,01	0,00	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6163	-1,05	3,54	-1,12	9,62	16,69	4,19	5,30	0,00	0,41	2,96	3,00
Davis Vantage Vue	-2,27	3,54	-1,12	10,25	16,69	4,19	4,97	-4,48	-2,43	2,96	-3,40

Tab. 20. Ocena amatorskich stacji meteorologicznych wg kryteriów klasy 4. Opracowanie własne.

Model	Temperatura - spec. 2°C	Wilgotność względna - spec. 10%	Ciśnienie - spec. 1,5hPa	Deszcz – spec. 25%	Prędkość wiatru - spec. 50%	Kierunek wiatru - spec. 22°	Działanie	Źródło ciepła	Konstrukcja i rozmiar osłony	Wysokość	Lokalizacja
Specyfikacja	2,00	10,00	1,50	25,00	50,00	22,00	-2,20	0,00	0,30	0,90	0,00
Davis VP2 6152	-2,27	3,54	1,12	9,62	16,69	4,19	3,83	1,07	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6162	-2,27	3,54	1,12	9,62	16,69	4,19	3,83	1,07	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6163	1,05	3,54	1,12	9,62	16,69	4,19	4,07	1,08	0,41	2,96	3,00
Davis Vantage Vue	-2,27	3,54	1,12	10,25	16,76	4,19	3,60	-4,48	-2,43	2,96	-3,40

Tab. 21. Ocena amatorskich stacji meteorologicznych wg kryteriów klasy 5. Opracowanie własne.

Model	Temperatura - spec. 5°C	Wilgotność względna - spec. 15%	Ciśnienie - spec. 3hPa	Deszcz – spec. 100%	Prędkość wiatru - spec. 60%	Kierunek wiatru - spec. 25°	Działanie	Źródło ciepła	Konstrukcja i rozmiar osłony	Wysokość	Lokalizacja
Specyfikacja	5,00	15,00	3,00	100,00	60,00	25,00	-1,80	0,00	0,30	0,90	0,00
Davis VP2 6152	2,27	3,54	1,12	9,62	16,69	4,19	5,18	1,07	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6162	2,27	3,54	1,12	9,62	16,69	4,19	5,18	1,07	1,04	2,96	3,00
Davis VP2 6163	1,05	3,54	1,12	9,62	16,69	4,19	5,58	1,08	0,41	2,96	3,00
Davis Vantage Vue	2,27	3,54	1,12	10,25	16,69	4,19	5,01	-4,48	-2,43	2,96	-3,40

Przedstawiona analiza może pozwolić na uzyskanie relatywnie dużej ilości informacji. Możliwe jest także określenie jakości i oceny sprzętu oferowanego przez producenta. Kolejne analizy wymagają jednak bezpośredniego kontaktu z producentami ze względu na brak dostępnych informacji w Internecie. Stwierdzono, że producenci, którzy dostarczają bardziej wiarygodnych informacji, znajdują się w niekorzystnej sytuacji, jako że ich sprzęt może sprawić wrażenie gorszej jakości. Instytut powinien zachęcać dostawców do dostarczania rzetelnych informacji, które byłyby porównywalne między producentami. W dłuższej perspektywie przyniesie to korzyści zarówno społeczności producentów jak i użytkowników.

## 7. Kontrola jakości.

W profesjonalnej meteorologii wielkości fizyczne mierzy się obecnie dzięki wyspecjalizowanym narzędziom pomiarowym, które składają się z ogniów elektrycznego łańcucha pomiarowego. Łańcuch ten obejmuje czujnik pomiarowy, układ pomiarowy i wskaźnik (kontrolny, pracownika serwisu) lub moduł wejścia do systemu telekomunikacyjnego (76). Mierzona wielkość fizyczna w łańcuchu zamieniana jest na odpowiedni sygnał elektryczny. Następnie sygnał ten jest przetwarzany w elektrycznym układzie pomiarowym oraz w układach elektronicznych na końcową wartość i postać, która jest odpowiednia dla wskaźnika lub układu telekomunikacyjnego. W łańcuchu pomiarowym, między rzeczywistą wartością mierzonej wielkości fizycznej, a wartością zmierzoną przyrządem pomiarowym występuje niezgodność. Jest ona równoznaczna z dokładnością pomiaru (błędem pomiaru wielkości meteorologicznej).

Podstawowym zadaniem miernictwa meteorologicznego jest zmniejszenie tej niezgodności do minimum, tak by na końcu łańcucha uzyskać wartość poprawną (błąd pomiaru będzie występował zawsze) wielkości mierzonej. W przypadku pomiarów „in situ” na błąd pomiaru wielkości meteorologicznej składają się błędy wynikające z:

- niepewnej reprezentatywności stanowiska pomiarowego;
- wadliwej ekspozycji przyrządu pomiarowego;
- niezetelności narzędzi pomiarowych.

Warunkiem uzyskania rzetelnych danych meteorologicznych jest więc sprowadzenie do zera wartości dwóch pierwszych błędów oraz redukcja błędu trzeciego do wartości pomijalnie małej w porównaniu z oczekiwaną precyzją telemetrycznego rozpoznania struktury pola fizycznego (76).

### **7.1. Reprezentatywność meteorologicznego stanowiska pomiarowego.**

Reprezentatywność oznacza, iż pomiary wielkości meteorologicznych będą wykonywane w punkcie przestrzeni reprezentatywnym dla naturalnej struktury badanego pola fizycznego. Pole takie jest przedmiotem poznania w przestrzeni i czasie i powinno znajdować się poza zasięgiem deformacji sąsiednich przeszkód naturalnych i sztucznych oraz niepożądanych źródeł emisji energii lub masy (76).

W polskiej literaturze warunki wyboru, utrzymania oraz rzetelności i jakości narzędzi i urządzeń pomiarowych występują rzadko. Państwowa Służba Hydrologiczno-Meteorologiczna spełnia swoją rolę i zadania tylko wtedy, gdy obserwacje i pomiary meteorologiczne prowadzone są sumiennie, terminowo, bez przerwy, przy użyciu wiarygodnego i certyfikowanego sprzętu zgodnie z obowiązującymi procedurami i instrukcjami IMGW-PIB. Obserwacje niespełniające tych warunków są zarówno bezwartościowe, jak i szkodliwe (77). PSHM dostosowuje swoje pomiary na stacjach różnego rzędu wykonując zalecenia Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) oraz korzystając z przyjętej polityki jakości. Te dokumenty oraz system zarządzania jakością, który jest nadawany przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji, są głównym źródłem wiedzy o rzetelnym miernictwie meteorologicznym w nowoczesnych systemach automatycznych.

Stanowiska pomiarowe wybierane są tak, by umożliwiały wykonywanie reprezentatywnych pomiarów meteorologicznych, stosownie do typu stacji. Stacja działająca w sieci synoptycznej powinna wykonywać pomiary, które spełnią wymogi skali synoptycznej,



stacja lotniskowa powinna dostarczać informacji specyficznym lokalnym. W przypadku wykorzystania danych do różnych celów, osłony lotnictwa, synoptyki i klimatologii, dokładną lokalizację stanowiska i warunki dla przyrządów pomiarowych określają wymagania bardzo surowe. Wybierając stanowisko, gdzie zamontowana zostanie automatyczna stacja meteorologiczna, przy uwzględnieniu warunków ekspozycji, Państwowa Służba Hydrologiczno-Meteorologiczna kieruje się wewnętrznymi instrukcjami dla stacji meteorologicznych (44). Ogólne zalecenia są następujące (76):

1. Wszystkie przyrządy automatycznej stacji meteorologicznej powinny być zainstalowane na powierzchni poziomej gruntu o wymiarach w przybliżeniu 10 x 7 m. Teren poletka powinien być pokryty krótko przystrzyżoną trawą lub o podłożu reprezentatywnym dla lokalizacji (żwir, drobne kamyki). Obszar stanowiska powinna zabezpieczać siatka lub płot, które mają zabezpieczyć teren stanowiska pomiarowego przed dostępem osób niepowołanych. W obszarze stanowiska wyodrębnione zostaje poletko z odkrytym gruntem o wymiarach około 2 x 2 m w celu pomiarów temperatury przygruntowej i temperatury gruntu na wysokościach mniejszych od +30 cm.
2. Przy zakładaniu stanowisk pomiarowych oraz w ich bezpośrednim sąsiedztwie, powinno unikać się obszarów o dużym nachyleniu gruntu. Stanowisko nie powinno być także umieszczane w zagłębieniach terenu. W przypadku, gdy te warunki nie będą spełnione, pomiary będą oddawać warunki lokalne a nie spełnią warunków dla reprezentowania warunków mezoregionu geograficznego czy skali synoptycznej.
3. Stanowisko powinno być założone możliwie jak najdalej od drzew, budynków, murów lub innych przeszkód. Odległość każdej przeszkody (włączając ogrodzenie stanowiska) od deszczomierza nie powinna być mniejsza od dwukrotnej wartości przewyższenia takiego obiektu ponad poziomem powierzchni recepcyjnej deszczomierza. Preferowana jest odległość większa od czterokrotnej wartości tego przewyższenia. Pozytywny wpływ na jakość pomiarów wysokości opadów mają osłony wiatrowe lub ogrodzenia o wysokości równej wysokości wlotu deszczomierza (78). Bardzo otwarte miejsca, odpowiednie dla niektórych przyrządów, staną się bezużyteczne dla deszczomierzy. W takich miejscach wysokość przechwyconego opadu będzie zaniżana przy większych prędkościach wiatru.
4. Deszczomierz i wiatromierz należy umieścić w miejscach, które spełniają warunki szczegółowe ich ekspozycji i powinny pracować na tym samym stanowisku co pozostałe przyrządy.

5. Miejsce wybrane na klatkę meteorologiczną niekoniecznie musi być równocześnie najlepszym miejscem do pomiaru prędkości i kierunku wiatru. Bardziej przydatne może okazać się inne miejsce, które jest bardziej wyeksponowane na wiatr może być przydatniejsze.
6. Stacje brzegowe powinny być otwarte na morze. Nie powinny być jednak umieszczane w pobliżu krawędzi klifu, gdyż wiry wiatru wytwarzane przez klif mogą zniekształcać pomiary wiatru i opadu.

## **7.2. Ekspozycja meteorologicznych przyrządów pomiarowych na stanowiskach automatycznych stacji meteorologicznych.**

Sposób ekspozycji urządzeń pomiarowych musi zapewnić ich umieszczenie w przestrzeni jednorodnej pola, które nie jest zniekształcone przez struktury techniczne. Jeśli istnieje konieczność użycia struktur osłaniających urządzenia pomiarowe przed oddziaływaniem niepożądanych źródeł energii lub masy (klatki meteorologiczne). Właściwości fizyczne osłon muszą być tak dobrane, aby ich obecność nie zniekształcała pola, którego wielkość ma być zmierzona przez czujniki w tych osłonach umieszczone (76).

Przyrządy pomiarowe powinny być zainstalowane na terenie pola pomiarowego (ogródka) tak aby wzajemnie nie wpływały na siebie. Cień rzucany przez przyrządy nie powinien padać na inne przyrządy pomiarowe. Stosuje się tu zasadę, że urządzenia najniższe znajdują się od strony południowej ogródka, a najwyższe od północnej. W północnej części ogródka meteorologicznego powinny znajdować się maszty wiatromierzy, następnie klatka meteorologiczna z przyrządami do pomiaru temperatury i wilgotności, a w następnej kolejności przyrządy do pomiaru opadu. Najbardziej na południe powinno być wysunięte poletko termometrów gruntowych. Do poszczególnych miejsc instalacji muszą prowadzić ścieżki komunikacyjne, przy czym do klatki meteorologicznej i termometrów gruntowych dojścia powinny być wytyczone od strony północnej. Drogi komunikacyjne należy tak zaprojektować, by ich powierzchnia była minimalna. Szerokość ścieżek nie powinna przekraczać 50 cm, mogą być utwardzone żwirem, płytami chodnikowymi lub kostką brukową, przy czym należy zwracać uwagę, aby płytki były ułożone naprzemiennie z obszarami pokrytymi trawą. Ogródek powinien być ogrodzony siatką metalową o dużych oczkach rozpiętą na słupkach lub prefabrykowanym ogrodzeniem, o minimalnej wysokości 125 cm. Ogrodzenie powinno dotykać powierzchni gruntu, aby uniemożliwić „wizyty” dzikich i domowych zwierząt.

W centralnej części ogródka meteorologicznego zamontowana powinna być klatka meteorologiczna, której zadaniem jest zapewnienie jednorodnych warunków pomiaru temperatury i wilgotności powietrza atmosferycznego. Według zaleceń WMO pomiar temperatury powinien być wykonywany na wysokości od 1,25 m do 2 m nad poziomem gruntu. W Państwowej Służbie Hydrologiczno-Meteorologicznej przyjmowana jest krańcowa wysokość ze względu na zaleganie w okresie zimowym kilkunastocentymetrowej pokrywy śnieżnej. Klatka meteorologiczna powinna osłaniać przyrządy do pomiaru temperatury przed wpływami radiacyjnymi słońca i otoczenia oraz wpływem wiatru. Klatki oraz inne elementy wyposażenia ogródków meteorologicznych, powinny być pomalowane na biało i myte z częstotliwością zależną od poziomu zanieczyszczeń atmosfery.

Klatka meteorologiczna nie powinna przeszkadzać swobodnej wymianie powietrza z otaczającą atmosferą, lecz jednocześnie musi stworzyć skuteczną osłonę przed promieniowaniem słonecznym bezpośrednim lub odbitym. Nie powinna wytwarzać własnego mikroklimatu pod wpływem nasłonecznienia. Nie powinna wytwarzać także własnego mikroklimatu pod wpływem opadów.

Z powyższego, bardzo pobieżnego, przeglądu, fizyka zjawisk występujących w sąsiedztwie i we wnętrzu osłony jest bardzo skomplikowana i wymaga starannego wyboru osłony, która spełniać będzie wszystkie warunki w najwyższym stopniu. Podobne problemy występują z innymi narzędziami anemometrycznymi, pyranometrycznymi, pluwiometrycznymi itp.

### **7.3. Kontrola jakości danych z automatycznych stacji meteorologicznych.**

Istnieją różne procedury kontroli jakości dla różnych faz procesu gromadzenia danych, ale na wszystkich poziomach brakuje kompleksowej kontroli jakości. Poniższe informacje przedstawiają kompleksowy system procedur sprawdzania, algorytmów oraz flag kontroli jakości, które należałoby wdrożyć na wszystkich poziomach kontroli jakości danych. Jest to propozycja dotycząca wyłącznie kontroli jakości danych w czasie rzeczywistym z pojedynczej automatycznej stacji meteorologicznej, podczas gdy przestrzenna kontrola jakości wykracza poza zakres tego opracowania. To samo dotyczy również sprawdzania pól analizowanych lub przewidywanych, a także kontroli jakości formatowania, transmisji i dekodowania błędów, ze względu na specyficzny charakter tych procesów.

Kontrola jakości danych jest najbardziej znanym elementem systemów zarządzania jakością. Polega na badaniu danych w celu wykrycia błędów. Kontrola jakości danych musi

być stosowana jako kontrola jakości w czasie rzeczywistym, która jest wykonywana w automatycznych stacjach meteorologicznych oraz w centrach przetwarzania danych. Ponadto musi być wykonywana w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Wyróżnia się dwa poziomy kontroli jakości danych pochodzących z pomiarów wykonywanych w czasie rzeczywistym przez automatyczne stacje meteorologiczne:

- Kontrola jakości surowych danych (pomiarów sygnału). Jest to podstawowa kontrola jakości wykonywana w automatycznych stacjach meteorologicznych. Ten poziom kontroli jakości jest istotny podczas pozyskiwania danych na pierwszym etapie i powinien on eliminować błędy urządzeń technicznych, w tym czujników, błędy pomiarowe (systematyczne lub losowe), błędy związane z procedurami i metodami pomiarowymi. Kontrola jakości na tym etapie obejmuje kontrolę poważnych błędów, podstawowe kontrole czasowe i podstawowe kontrole spójności wewnętrznej. Stosowanie tych procedur jest niezwykle ważne, ponieważ niektórych błędów zaistniałych w procesie pomiarowym nie da się później wyeliminować.
- Kontrola jakości przetwarzanych danych. Jest to rozszerzona kontrola jakości, częściowo wykonywana w automatycznych stacjach meteorologicznych, ale głównie z centrach przetwarzania danych. Ten poziom kontroli jakości jest istotny podczas redukcji i konwersji danych w pierwszym etapie na etap drugi. Obejmuje kompleksową kontrolę spójności czasowej i wewnętrznej, ocenę błędów systematycznych i długotrwałych dryftów czujników i modułów oraz wadliwego działania czujników.

Schemat poziomów kontroli jakości przedstawia się następująco:

Podstawowe procedury kontroli jakości automatycznych stacji meteorologicznych:

1. Automatyczna kontrola jakości surowych danych:
  - a. kontrola wiarygodności wartości (kontrola błędów grubych (poważnych) wartości zmierzonych);
  - b. sprawdzenie wiarygodności szybkości zmian (sprawdzenie spójności czasowej mierzonych wartości).
2. Automatyczna kontrola jakości przetwarzanych danych:
  - a. kontrola wiarygodności wartości;
  - b. kontrola spójności czasowej:
    - sprawdzenie maksymalnej dozwolonej zmienności wartości chwilowej (test krokowy);

- sprawdzenie minimalnej wymaganej zmienności wartości chwilowej (test trwałości);
  - obliczenie odchylenia standardowego;
- c. kontrola spójności wewnętrznej;
  - d. monitoring techniczny wszystkich kluczowych elementów automatycznej stacji meteorologicznej.

Rozszerzone procedury kontroli jakości w centrach przetwarzania danych:

1. Kontrola wiarygodności wartości.
2. Kontrola spójności czasowej:
  - a. kontrola maksymalnej dozwolonej zmienności wartości chwilowej (test krokowy);
  - b. kontrola minimalnej wymaganej zmienności wartości chwilowych (test trwałości);
  - c. obliczenie odchylenia standardowego.
3. Kontrola spójności wewnętrznej.

W procesie stosowania procedur kontroli jakości danych z automatycznych stacji meteorologicznych dane są walidowane i w razie potrzeby usuwane lub poprawiane. System kontroli jakości powinien obejmować procedury powrotu do źródła danych w celu ich weryfikacji i zapobiegania powtarzaniu się błędów. Kompleksowa dokumentacja stosowanych procedur kontroli jakości, w tym specyfikacja podstawowych procedur przetwarzania danych do obliczania danych chwilowych (jednominutowych) i sum powinna być częścią standardowej dokumentacji automatycznych stacji meteorologicznych.

### **7.3.1. Definicje kontroli jakości.**

1. Kontrola jakości: Techniki i czynności operacyjne stosowane w celu spełnienia wymagań dotyczących jakości. Podstawowym celem kontroli jakości danych obserwacyjnych jest wykrywanie braków danych, wykrywanie błędów i korygowanie ewentualnych błędów w celu zapewnienia możliwie najwyższego i odpowiedniego standardu dokładności dla optymalnego wykorzystania tych danych przez wszystkich możliwych użytkowników. W celu osiągnięcia tego celu, czyli jakości danych automatycznych stacji meteorologicznych, niezbędny jest dobrze zaprojektowany system kontroli jakości. Należy dołożyć wszelkich starań, aby poprawić wszystkie błędne dane i zweryfikować podejrzone dane wykryte poprzez procedury kontroli jakości. Jakość danych powinna być wiadoma.
2. Zapewnienie jakości. Wszystkie zaplanowane i systematyczne działania wdrożone w ramach systemu jakości i w razie potrzeby wykazywane, aby zapewnić odpowiednią

pewność, że jednostka spełni wymagania dotyczące jakości. Podstawowym celem systemu zapewnienia jakości jest zapewnienie spójności danych oraz spełnienie celów jakości danych.

3. Rodzaje błędów. Istnieje kilka rodzajów błędów, które mogą wystąpić w przypadku danych pomiarowych i należy je wykryć za pomocą wdrożonych procedur kontroli jakości. Są to (79) (76):

- Błędy losowe. Rozkładają się one mniej więcej symetrycznie wokół zera i nie zależą od wartości mierzonej. Błędy losowe czasami prowadzą do przeszacowania, a czasami do niedoszacowania rzeczywistej wartości (79) (76).
- Błędy systematyczne. Rozkładają się asymetrycznie wokół zera. Średnio błędy te mają tendencję do odchylenia mierzonej wartości powyżej lub poniżej wartości rzeczywistej. Jedną z przyczyn losowych błędów jest powolny dryft czujników (79) (76).
- Błędy grube. Są spowodowane nieprawidłowym działaniem urządzeń pomiarowych lub błędami popełnianymi podczas przetwarzania danych. Błędy te są łatwo wykrywane przez kontrolę jakości danych (79) (76).
- Błędy reprezentatywności. Są wynikiem zaburzeń o małej skali lub warunków pogodowych wpływających na obserwację meteorologiczną. Warunki te nie są całkowicie obserwowalne przez system obserwujący ze względu na jego czasową lub przestrzenną rozdzielczość. Niemniej jednak, gdy takie zjawisko wystąpi podczas rutynowej obserwacji, wyniki mogą wyglądać nietypowo w porównaniu z obserwacjami w pobliżu, które są dokonywane w tym samym czasie (79) (76).

### **7.3.2. Procedury kontroli jakości poziomu pierwszego.**

W celu monitorowania jakości danych z czujników przed ich użyciem do obliczania wartości parametrów pogodowych, w automatycznych stacjach meteorologicznych powinno być stosowane automatyczne sprawdzanie poprawności danych (procedury podstawowej kontroli jakości). Ta podstawowa kontrola jakości ma na celu usunięcie błędnych informacji z czujników przy zachowaniu prawidłowych danych z czujników. W nowoczesnych automatycznych systemach pobierania danych duża częstotliwość próbkowania pomiarów oraz możliwe generowanie szumów wymuszają sprawdzenie danych na poziomie próbek, jak również na poziomie danych chwilowych (na ogół danych jednoczesnych). Procedury podstawowej kontroli jakości należy stosować (wykonywać) na każdym etapie konwersji nieprzetworzonych danych wyjściowych z czujników na parametry meteorologiczne. Zakres podstawowej kontroli jakości silnie zależy od wydajności jednostki przetwarzania

automatycznej stacji meteorologicznej. Dane wyjściowe podstawowej kontroli jakości powinny być zawarte w każdym komunikacie automatycznej stacji meteorologicznej.

Rodzaje procedur podstawowej kontroli jakości są następujące:

- Automatyczna kontrola jakości surowych danych (próbek z czujników) mająca na celu przede wszystkim wykrycie awarii, niestabilności, zakłóceń czujnika - w celu zmniejszenia potencjalnego uszkodzenia przetwarzania danych, wartości, które nie spełniają kryteriów tego poziomu kontroli jakości, nie są wykorzystywane w dalszym przetwarzaniu danych.
- Automatyczna kontrola jakości przetworzonych danych mająca na celu identyfikację błędnych lub nieprawidłowych danych. Zakres tej kontroli zależy od zastosowanych czujników.

Wszystkie dane automatycznych stacji meteorologicznych powinny posiadać flagi QC (kontrola jakości). W podstawowej kontroli jakości wystarczające jest pięć kategorii jakości danych:

- dobre (dokładne dane z błędami mniejszymi lub równymi określonej wartości);
- niespójne (jeden lub więcej parametrów jest niespójnych);
- wątpliwe (podejrzane);
- błędne (nieprawidłowe dane z błędami przekraczającymi określoną wartość);
- brakujące dane.

Istotne jest, aby jakość danych była znana i możliwa do wykazania. Dane muszą przejść pozytywnie wszystkie kontrole w ramach podstawowej kontroli jakości. W przypadku danych niespójnych, wątpliwych i błędnych należy przekazać dodatkowe informacje a w przypadku brak danych należy podać przyczynę braku. W przypadku komunikatów BUFR dla danych automatycznych stacji meteorologicznych można zastosować BUFR 0 33 005 (informacje o jakości danych) i 0 33 020 (wskazanie kontroli jakości kolejnej wartości).

#### 1. Automatyczna kontrola jakości danych surowych.

- a. Kontrola wiarygodności wartości (kontrola istotnych błędów wartości zmierzonych).  
Celem kontroli jest sprawdzenie czy wartości mieszczą się w granicach dopuszczalnych zakresów. Każdą próbkę należy zbadać pod kątem tego, czy jej wartość mieści się w zakresie pomiarowym odpowiedniego czujnika. Jeżeli wartość nie przejdzie kontroli, jest odrzucana i nie jest wykorzystywana w dalszych obliczeniach odpowiedniego parametru.

- b. Sprawdzenie wiarygodności szybkości zmian (sprawdzenie spójności czasowej mierzonych wartości).

Celem kontroli jest weryfikacja tempa zmian (nierealistyczne skoki wartości). Kontrolę najlepiej przeprowadzić na danych o wysokiej rozdzielczości czasowej (wysoka częstotliwość próbkowania), ponieważ korelacja między kolejnymi próbkami wzrasta wraz z częstotliwością próbkowania. Po każdym pomiarze sygnału bieżąca próbka jest porównywana z poprzednią. Jeżeli różnica między takimi dwoma próbkami przekracza określony limit, bieżąca próbka jest identyfikowana jako podejrzana i nie jest używana do obliczenia średniej. Nadal jednak jest wykorzystywana do kontroli spójności czasowej próbek. Oznacza to, że nowa próbka jest nadal porównywana z podejrzaną. Wynikiem tej procedury jest to, że w przypadku dużego szumu do obliczenia średniej nie są wykorzystywane jedna lub dwie kolejne próbki. W przypadku częstotliwości próbkowania 5 - 10 próbek na minutę (interwał 6 - 12 sekund) zaimplementowane w automatycznych stacjach meteorologicznych granice wariancji czasowej próbek mogą być następujące:

- temperatura powietrza: 2°C;
- temperatura punktu rosy: 2°C;
- temperatura gruntu i gleby: 2°C;
- wilgotność względna: 5%;
- ciśnienie atmosferyczne: 0,3 hPa;
- prędkość wiatru: 20 m/s;
- promieniowanie słoneczne (irradiacja): 800 W/m<sup>2</sup>.

Do obliczenia wartości chwilowej (jednominutowej) należy przyjąć co najmniej 66% (2/3) dostępnych próbek, a w przypadku obliczenia średniej z 2 lub 10 minut dla kierunku i prędkości wiatru co najmniej 75%. Jeżeli w ciągu jednej minuty dostępnych jest mniej niż 66% próbek, aktualna wartość nie spełnia kryterium kontroli jakości i nie jest wykorzystywana do dalszych obliczeń odpowiedniego parametru. Wartość powinna zostać oznaczona jako brakująca.

## 2. Automatyczna kontrola jakości przetworzonych danych.

- a. Kontrola wiarygodności wartości.

Celem kontroli jest sprawdzenie czy wartość danych chwilowych (średnia lub suma jednominutowa, w przypadku wiatru średnie 2 i 10 minutowe) mieszczą się w granicach dopuszczalnego zakresu. Limity dla różnych parametrów meteorologicznych zależą od



warunków klimatycznych miejsca usytuowania automatycznej stacji meteorologicznej i pory roku. Na tym etapie kontroli jakości mogą być od nich niezależne i można je ustawić jako szerokie i ogólne. Możliwe stałe wartości limitów zaimplementowanych w automatycznych stacjach meteorologicznych mogą być następujące (Tab. 22):

Tab. 22. Limity zaimplementowanych stałych wartości (79).

Parametr	Limit dla uznania za wartość podejrzaną	Limit dla uznania za wartość podejrzaną
Temperatura powietrza	3°C	
Temperatura punktu rosy	2 - 3°C; 4 - 5°C	4°C
Temperatura gruntu	5°C	10°C
Temperatura gleby na głębokości 5 cm	0,5°C	1°C
Temperatura gleby na głębokości 10 cm	0,5°C	1°C
Temperatura gleby na głębokości 20 cm	0,5°C	1°C
Temperatura gleby na głębokości 50 cm	0,3°C	0,5°C
Temperatura gleby na głębokości 100 cm	0,1°C	0,2°C
Wilgotność względna	10 %	15 %
Ciśnienie atmosferyczne	0,5 hPa	2 hPa
Prędkość wiatru (średnia z 2 minut)	10 m/s	20 m/s
Promieniowanie słoneczne (irradiacja)	800 W/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup>

Jeżeli temperatura punktu rosy jest mierzona bezpośrednio przez czujnik, należy zastosować dolną granicę. Jeżeli punkt rosy liczony jest na podstawie pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza, zalecany jest większy limit (uwzględniający wpływ osłony termometru i higrometru). Osłona zwykle powoduje inny „czas odpowiedzi systemu” dla temperatury powietrza i pary wodnej, a kombinacja tych dwóch parametrów może generować szybkie zmiany temperatury punktu rosy, które nie są reprezentatywne dla wartości domyślnych czujnika, ale są reprezentatywne dla wpływu osłony podczas szybkich zmian temperatury powietrza i wilgotności względnej.

W przypadku ekstremalnych warunków meteorologicznych może wystąpić nietypowa zmienność parametru lub parametrów. W takich okolicznościach dane mogą zostać oznaczone jako podejrzanego pomimo, iż są poprawne. Nie są one odrzucane i podlegają dalszej walidacji podczas rozszerzonej kontroli jakości realizowanej w centrum przetwarzania danych, gdzie zostają uznane za dobre lub złe.

b. Kontrola minimalnej wymaganej zmienności wartości chwilowych.

Kontrola wykonywana w pewnym okresie (test trwałości), gdy pomiar parametru był wykonywany przez co najmniej 60 minut. Jeżeli wartości jednogodzinowe nie różnią się w ciągu ostatnich 60 minut o więcej niż określony limit (wartość progowa), to bieżąca wartość jednogodzinowa nie przechodzi kontroli. Możliwe wartości graniczne minimalnej wymaganej zmienności mogą być następujące:

- temperatura powietrza: 0,1°C w ciągu ostatnich 60 minut;
- temperatura punktu rosy: 0,1°C w ciągu ostatnich 60 minut;
- temperatura gruntu: 0,1°C w ciągu ostatnich 60 minut<sup>1</sup>;
- temperatura gleby może być bardzo stabilna, więc nie ma minimalnej wymaganej zmienności;
- wilgotność względna: 1% w ciągu ostatnich 60 minut<sup>2</sup>;
- ciśnienie atmosferyczne: 0,1 hPa w ciągu 60 minut;
- kierunek wiatru: 10° w ciągu ostatnich 60 minut<sup>3</sup>;
- prędkość wiatru: 0,5 m/s w ciągu ostatnich 60 minut<sup>4</sup>.

Jeśli wartość nie przejdzie kontroli spójności czasowej, powinna ona zostać jako wątpliwa (podejrzana).

Zalecane jest obliczenie odchylenia standardowego podstawowych zmiennych, takich jak temperatura, ciśnienie, wilgotność, wiatr, przynajmniej dla ostatniego jednogodzinnego okresu. Jeżeli odchylenie standardowe parametru jest poniżej dopuszczalnego minimum, wszystkie dane z tego okresu należy oznaczyć jako podejrzane. W połączeniu z testem trwałości, odchylenie standardowe jest bardzo dobrym narzędziem do wykrywania zablokowanego czujnika, jak również długookresowego dryftu czujnika.

c. Kontrola spójności wewnętrznej.

Podstawowe algorytmy służące do sprawdzenia wewnętrznej spójności danych opierają się na relacji między dwoma parametrami (spełnione muszą być następujące warunki):

- temperatura punktu rosy < temperatura powietrza;

---

<sup>1</sup> Dla temperatury gruntu poza przedziałem (-0,2°C +0,2°C). Topniejący śnieg może generować izotermę, podczas której granica powinna wynosić 0°C (aby uwzględnić niepewność pomiaru).

<sup>2</sup> Dla wilgotności względnej < 95% (w celu uwzględnienia niepewności pomiaru).

<sup>3</sup> Dla 10-minutowej średniej prędkości wiatru w danym okresie > 0,1 m/s.

<sup>4</sup> Dla 10-minutowej średniej prędkości wiatru w danym okresie > 0,1 m/s.

- prędkość wiatru = 00 i kierunek wiatru = 00;
- prędkość wiatru  $\neq$  00 i kierunek wiatru  $\neq$  00;
- poryw (prędkość) wiatru  $\geq$  prędkość wiatru;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli całkowite zachmurzenie = 0 i ilość opadów  $> 0^5$ ;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli całkowite zachmurzenie = 0 i czas trwania opadów  $> 0^6$ ;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli całkowite zachmurzenie = 8 i czas nasłonecznienia  $> 0$ ;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli czas nasłonecznienia  $> 0$  i promieniowanie słoneczne = 0;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli promieniowanie słoneczne  $> 500 \text{ W/m}^2$  i nasłonecznienie = 0;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli ilość opadów  $> 0$  i czas trwania opadów = 0;
- oba elementy są podejrzane\*, jeśli czas trwania opadów  $> 0$  i zjawisko pogodowe różni się od rodzaju opadów.

Jeśli wartość nie przejdzie wewnętrznych kontroli spójności, powinna zostać oznaczona jako niespójna.

Nierozłączną częścią systemu zapewniania jakości jest monitorowanie techniczne wszystkich kluczowych elementów automatycznych stacji meteorologicznych, w tym wszystkich czujników. Monitorowanie dostarcza informacji o jakości danych poprzez stan techniczny przyrządu, jak również informacje o stanie pomiarów wewnętrznych. Odpowiednie informacje powinny być wymieniane razem z danymi pomiarowymi.

### 7.3.3. Procedury rozszerzonej kontroli jakości.

Procedury rozszerzonej kontroli jakości powinny być stosowane w centrum przetwarzania danych. Kontrole, które zostały już przeprowadzone w automatycznych stacjach meteorologicznych, muszą zostać powtórzone w centrach przetwarzania danych, ale w bardziej rozbudowanej formie. Powinno to obejmować kompleksowe kontrole w odniesieniu do limitów fizycznych i klimatycznych, kontrole spójności czasowej dla dłuższego okresu pomiarowego,

---

<sup>5</sup> Lub większa niż minimalna rozdzielczość deszczomierza, w celu uwzględnienia osadzania się wody przez rosę, itp.

<sup>6</sup> Z wyjątkiem krupy śnieżnej, która może wystąpić przy zachmurzeniu = 0.

\* możliwe używane tylko dla danych z okresu nie dłuższego niż 10 – 15 minut.

kontrole relacji logicznych między wieloma zmiennymi (wewnętrzna spójność danych), statystyczne metody analizy danych, itp.

Sugerowane wartości graniczne (kontrole wartości granicznych dla błędów grubych) dla prędkości wiatru przyziemnego, temperatury powietrza, temperatury punktu rosy i ciśnienia atmosferycznego w stacji są przedstawione w Przewodniku Światowej Organizacji Meteorologicznej (80). Limity można dostosować na podstawie ulepszonych statystyk klimatycznych i doświadczenia.

Wewnętrzna kontrola spójności danych może spowodować, że obie powiązane wartości będą oznaczone jako niespójne, wątpliwe lub błędne, gdy tylko jedna z nich będzie podejrzana lub błędna. Dlatego też należy przeprowadzić dalszą kontrolę innymi sposobami, aby tylko podejrzana, niewłaściwa wartość została odpowiednio oflagowana, a inna wartość została oflagowana jako dobra.

W porównaniu z podstawową kontrolą jakości wykonywaną w automatycznych stacjach meteorologicznych należy zastosować więcej kategorii kontrolnych, np.:

- dane zweryfikowane (w podstawowej kontroli jakości dane oznaczone jako podejrzane, błędne lub niespójne, w rozszerzonej kontroli jakości potwierdzone jako dobre przy użyciu innych procedur sprawdzających);
- dane poprawione (w podstawowej kontroli jakości dane oznaczone jako błędne lub podejrzane, w rozszerzonej kontroli jakości skorygowane przy użyciu odpowiednich procedur).

Różne parametry w raporcie danych automatycznych stacji meteorologicznych z n-minut ( $n < 10 - 15$  minut) są porównywane ze sobą. W poniższym opisie sugerowane algorytmy sprawdzania zostały podzielone na obszary, w których parametry fizyczne są ściśle ze sobą powiązane. Nazwy parametrów wraz z odpowiadającymi im deskryptorami BUFR stosowane w algorytmach wyjaśniono w tabeli poniżej (Tab. 23).

#### 1. Kierunek i prędkość wiatru.

Informacje o wietrze są uważane za błędne w następujących przypadkach:

- kierunek wiatru = 00 i prędkość wiatru  $\neq$  00;
- kierunek wiatru  $\neq$  00 i prędkość wiatru = 00;
- poryw (prędkość) wiatru  $\leq$  prędkość wiatru.

#### 2. Temperatura powietrza i temperatura punktu rosy.

Informacja o temperaturze jest uważana za błędną w następującym przypadku:

- temperatura punktu rosy  $>$  temperatura powietrza;
- temperatura powietrza – temperatura punktu rosy  $> 5^{\circ}\text{C}$  i zachmurzenie od (1, 2, 3).

3. Temperatura powietrza i pogoda bieżąca.

Oba elementy są uważane za podejrzane, gdy:

- temperatura powietrza  $> +5^{\circ}\text{C}$  i rodzaj opadów od (6, ..., 12);
- temperatura powietrza  $< -2^{\circ}\text{C}$  i rodzaj opadów od (2);
- temperatura powietrza  $> +3^{\circ}\text{C}$  i rodzaj opadów od (3);
- temperatura powietrza  $< -10^{\circ}\text{C}$  i rodzaj opadów od (3);
- temperatura powietrza  $> +3^{\circ}\text{C}$  i zachmurzenie od (2).

4. Widoczność i bieżąca pogoda.

Wartości widzialności i pogody są uważane za podejrzane, gdy:

- zachmurzenie wynosi od (1, 2, 3) i widzialność  $> 1000$  m;
- zachmurzenie wynosi od (7, 8, 9, 11, 12, 13) i widzialność  $> 10000$  m;
- widzialność  $< 1000$  m i zachmurzenie nie od (1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), a typ opadu nie jest (1, ..., 14);
- zachmurzenie = 7 i widzialność  $< 1000$  m;
- widzialność  $> 10000$  m oraz rodzaj opadów i brak zachmurzenia oraz brak zjawiska pogodowego.

5. Aktualna pogoda i informacje o zachmurzeniu.

Informacje o zachmurzeniu i pogodzie są uważane za podejrzane, gdy:

- całkowite zachmurzenie = 0, a rodzaj opadów to (1, 11, 13, 14) lub zjawisko pogodowe jest od (2, 5, ..., 10).

6. Aktualna pogoda i czas trwania opadów, uważa się za podejrzane, gdy:

- typ opadów wynosi (1, ..., 10, 13, 14) i czas trwania opadów = 0;
- typ opadów nie jest od (1, ..., 10, 13, 14) i czas trwania opadów  $> 0$ .

7. Informacje o zachmurzeniu i opadach.

Informacje o zachmurzeniu i opadach są uważane za podejrzane, gdy:

- całkowite zachmurzenie = 0 i ilość opadów  $> 0$  (lub większa niż minimalna rozdzielczość deszczomierza, aby uwzględnić osadzanie się wody przez rosę, itp.).

8. Informacje o zachmurzeniu i czasie trwania opadów.

Informacje o zachmurzeniu i czasie trwania opadów są uważane za podejrzane, gdy:

- całkowite zachmurzenie = 0 i czas trwania opadów  $> 0$ .

9. Czas trwania opadów i inne informacje o opadach.

Dane dotyczące opadów są uważane za podejrzane, gdy:

- Wysokość opadów  $> 0$  i czas trwania opadów  $= 0$ .

10. Informacje o zachmurzeniu i czasie nasłonecznienia.

Informacje o zachmurzeniu i czasie trwania nasłonecznienia są uważane za podejrzane, gdy:

- Całkowite zachmurzenie  $= 100\%$  i czas nasłonecznienia  $> 0$ .

W przypadku każdej kontroli, jeśli sprawdzane wartości nie przejdą wewnętrznej kontroli spójności, należy je oznaczyć jako błędne lub podejrzane (w zależności od rodzaju kontroli) i niespójne. Dalsze sprawdzanie w inny sposób należy wykonać tak, aby tylko podejrzana, niewłaściwa wartość została odpowiednio oflagowana, a druga wartość była oflagowana jako dobra.

Nazwa symboliczna i odpowiadający jej deskryptor BUFR (jako referencja) stosowane w algorytmach kontroli jakości są następujące (Tab. 23):

Tab. 23. Nazwa symboliczna i deskryptor w algorytmach QC (79).

Nazwa symboliczna	Deskryptor BUFR
Kierunek wiatru	0 11 001
Prędkość wiatru	0 11 002
Poryw wiatru (prędkość)	0 11 041
Temperatura powietrza	0 12 101
Temperatura punktu rosy	0 12 103
Całkowite zachmurzenie	0 20 010
Widzialność	0 20 001
Rodzaj opadów	0 20 021
Intensywność opadów	0 26 022
Czas trwania opadów	0 26 020
Zjawisko pogodowe	0 20 023

Do dalszego przetwarzania danych konieczne jest przechowywanie wyników rozszerzonej kontroli jakości danych wraz z informacją o tym, jak podejrzane lub błędne dane zostały potraktowane (przy użyciu rozbudowanego systemu flag). Dane wyjściowe systemu kontroli jakości powinny zawierać flagi kontroli jakości, które wskazują, czy pomiar zakończył się pomyślnie, czy nie, a także zbiorcze informacje dotyczące czujników.

Należy dołożyć wszelkich starań, aby wypełnić luki w danych, skorygować wszystkie błędne wartości oraz zweryfikować wątpliwe dane wykryte przez procedury kontroli poprzez wybór odpowiednich procedur.

#### **7.4. Sytuowanie, działanie i kontrola jakości amatorskich stacji meteorologicznych.**

Jak już wcześniej wspomniano, podstawowym zadaniem miernictwa meteorologicznego jest zmniejszenie niezgodności między prawdziwą wartością mierzonej wielkości fizycznej a wartością zmierzoną przyrządem pomiarowym do minimum, tak by na końcu łańcucha uzyskać wartość poprawną wielkości mierzonej.

Zanim jakiegokolwiek wielkości mierzone przez amatorskie stacje meteorologiczne zostaną poddane kontroli jakości, Instytut jako jednostka prowadząca działalność edukacyjną z zakresu monitorowania procesów fizycznych zachodzących między innymi w atmosferze, powinien wydać poradnik. Celem poradnika powinno być zapewnienie informacji i edukacji operatorom amatorskich stacji meteorologicznych, twórcom oprogramowania i producentom sprzętu. Głównym tematem powinna być pożądana wydajność przy zbieraniu automatycznych obserwacji meteorologicznych dla przyszłego programu włączenia danych z amatorskich stacji meteorologicznych do systemu pomiarowo-obserwacyjnego Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego.

W pracy podjęto próbę opracowania poradnika w zakresie lokalizacji, działania i jakości danych stacji pogodowych.

#### **8. Wyniki końcowe i podsumowanie.**

W pracy przedstawiono szczegółowo przegląd dotychczasowej wiedzy o amatorskich stacjach meteorologicznych oraz sieciach amatorskich stacji meteorologicznych. Liczba dostępnych, niskobudżetowych i prostych w obsłudze stacji, których właściciele oraz instytucje prywatne udostępniają swoje pomiary w Internecie, systematycznie rośnie. Szybkość przepływu informacji oraz gęstość rozmieszczenia, powstałych w wyniku pomiarów, obserwacji aktualnego i przeszłego stanu atmosfery może pomóc w monitorowaniu i zrozumieniu zjawisk atmosferycznych zarówno w mikro jak i makro skali. Analiza wykazała, że liczba amatorskich stacji meteorologicznych na terenie kraju jest dwa razy większa (źródło: badanie własne) od liczby stacji telemetrycznych w sieci Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego. Pomimo nierównomiernego rozłożenia stacji

amatorskich na terenie kraju szacuje się, że w ciągu kilku lat nastąpi podwojenie liczby amatorskich stacji meteorologicznych.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy utrzymuje zintegrowany system pomiarowy umożliwiający analizowanie i prognozowanie stanu atmosfery i hydrosfery w sposób, który równoważy względy finansowe z optymalnym pokryciem obszaru kraju w lokalizacjach spełniających wymagania Światowej Organizacji Meteorologicznej. W praktyce rzadkość przestrzenna punktów pomiarowych jest jedną z przeszkód w postępie w kierunku prognoz pogody o wyższej rozdzielczości. Jest to sprzeczne z rosnącymi wymaganiami społecznymi dostępności do danych w skali lokalnej. W związku z tym spełnienie wymagań dotyczących pomiarów meteorologicznych i prognoz na małą skalę bez wątplenia wymaga sieci obserwacyjno-pomiarowej o większej gęstości. W tym kontekście sieci amatorskich stacji meteorologicznych stwarzają obiecujące możliwości uzupełnienia podstawowej sieci meteorologicznej. Entuzjaści pomiarów i obserwacji meteorologicznych w kraju coraz częściej włączają się w monitorowanie pogody przesyłając swoje dane pomiarowe do różnych sieci. Jest to zgodne ze światowym trendem, w którym czujniki stają się coraz bardziej dostępne, coraz tańsze oraz zapewniają obserwacje o coraz wyższej jakości. Ogromna ilość użytkowników amatorskich sieci na całym świecie tworzy w ten sposób magazyn Big Data z obserwacjami pogody.

Przeprowadzone pomiary porównawcze wykazały, że wyższa cena amatorskich deszczomierzy nie oznacza wyższej jakości. Najtańszy deszczomierz Stratus najlepiej rejestrował dobowe sumy opadu atmosferycznego, a najdroższy Davis Vantage Pro 2A najgorzej. Niewątpliwą wadą deszczomierza Stratus była konieczność dziennych, porannych odwiedzin i ręcznego wykonywania pomiaru. W tym kontekście automatyczne deszczomierze są zdecydowanie wygodniejsze w obsłudze dla użytkownika. Osiągnięcie w pomiarach opadu przez automatyczne deszczomierze amatorskie dokładności wymaganej przez WMO przy stosowaniu amatorskich deszczomierzy korytkowych jest bardzo trudne i wymaga od Instytutu stosowania metod kontroli jakości przy ewentualnym korzystaniu z takiego typu danych. Badania wykazały, że błąd sumaryczny w okresie całej sesji pomiarowej był ujemny, odpowiednio dla deszczomierza Davis Vantage Vue -0,3% i dla deszczomierza Davis Vantage Pro 2A -13,3%, a więc w zależności od typu deszczomierza zmierzona wysokość opadu atmosferycznego będzie nieco niższa od wysokości opadu zmierzonego deszczomierzem Hellmanna. Na uwagę zasługuje mała różnica w sumie opadu atmosferycznego całego okresu między deszczomierzem Davis Vantage Vue, który zainstalowany był na dachu budynku,



a deszczomierzem Hellmanna. Automatyczne deszczomierze amatorskie, podobne zresztą jak te pracujące w sieciach narodowych, nie rozróżniają pojawienia się rosy, szronu, oblodzenia, mgły itp. od opadu atmosferycznego. Obserwacje tego typu, wykonywane przez obserwatorów, zarówno w sieciach profesjonalnych jak i amatorskich, zanikają.

Wyniki pomiarów opadu atmosferycznego wykonywanych za pomocą amatorskich deszczomierzy najbardziej różniły się w stosunku do pomiarów wykonywanych za pomocą deszczomierza Hellmanna w przypadku danych dobowych. W zależności od deszczomierza amatorskiego różnice zacieły się w przypadku danych miesięcznych i całego okresu wykonywania pomiarów porównawczych. Ze statystycznego punktu widzenia analizowane serie danych z pomiarów deszczomierzem Hellmanna i deszczomierzami amatorskimi wykazują silną korelację, jednak porównanie pomiarów z poszczególnych terminów pomiarowych pokazuje różnice. Zanotowane różnice wartości miesięcznych sum opadów miały w przypadku deszczomierza Stratus charakter jednokierunkowy. Natomiast automatyczne deszczomierze amatorskie wskazywały różne sumy opadu atmosferycznego i mniejszą liczbę dni z opadem w porównaniu z deszczomierzem Hellmanna. Wielkość różnic i stopień zgodności danych nie zależał od okresu półrocza zimnego i ciepłego, w którym dokonywano porównywania. Pomimo różnej budowy i metod pomiaru dane pomiarowe opadu atmosferycznego z deszczomierza Stratus oraz deszczomierza Davis Vantage Vue nadają się zarówno do monitorowania klimatu, jak i do wykorzystania, po zastosowaniu kontroli, w sieci IMGW-PIB.

Aby zapewnić porównywalność i kontrolę danych dobowych opadu atmosferycznego wskazane jest dublowanie czujników amatorskich. Najlepszym rozwiązaniem jest posiadanie obok deszczomierza automatycznego, deszczomierza manualnego. Konieczna jest także kalibracja przyrządów i ciągła weryfikacja danych oraz dalsze badania porównawcze, których wynikiem powinno być wprowadzanie współczynników korygujących dla amatorskich deszczomierzy.

Pomiary porównawcze temperatury powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego wykazały doskonałą korelację między danymi pobieranymi ze stacji. Nieco słabszą, jednak wciąż wysoką zbieżność danych, stwierdzono w przypadku wilgotności względnej powietrza. Prędkość wiatru wykazywała znacznie słabszą zgodność w pomiarach między stacją amatorską a stacją profesjonalną, podobnie jak kierunek wiatru, poryw wiatru. Badanie wykazało, że jakość danych pochodzących z amatorskich stacji meteorologicznych w ogromnej mierze zależy od samego usytuowania czujników. Pomiary z czujników stacji amatorskiej, które

zamontowane były zgodnie z wytycznymi WMO nie różniły się od siebie, natomiast pomiary związane z wiatrem, gdzie czujniki zamontowano w gorszej lokalizacji, wykazywały znacznie niższą zgodność.

W kolejnych analizach stwierdzono, iż pomiary punktowe opadu w naziemnej sieci IMGW-PIB są mało reprezentatywne dla oceny obszarowej ze względu na dużą zmienność przestrzenną i czasową wystąpienia opadu o dużej wydajności. Rozwiązaniem jest ekstrapolacja wartości opadowych za pośrednictwem metod radarowych. Odbiorcy danych będą jednak bardziej zainteresowani wysokością opadu rzeczywistego, który dotrze do powierzchni ziemi. Tu potencjał amatorskich sieci meteorologicznych jest znaczący. Sieci takich stacji dostarczają informacji o wystąpieniu ekstremalnych opadów zarówno z terenów wiejskich jak i miejskich, na których gęstość osobistych stacji przewyższa gęstość sieci narodowych służb meteorologicznych. Wyniki niniejszej pracy potwierdzają wnioski innych badaczy, iż przestrzenny rozkład pola sum opadów zmierzonych przez stacje amatorskie są zgodne z wartościami ustalonymi za pośrednictwem metod radarowych. Użycie dodatkowo danych PWS znacznie wpłynęło na poprawę dopasowania wyników obliczeniowych wysokości opadu do obserwowanych. Potwierdza to między innymi wzrost wartości parametru Hit Rate oraz parametrów RMSE i NSE.

Pomimo dużej dostępności do danych opadowych PWS oczekuje się, że błędy pomiaru, w zależności od rodzaju urządzenia, niskiej jakości czujników, instalacji stacji, przetwarzania danych przez platformę pomiarową oraz konserwacji samych przyrządów, będą występować. Wyniki pomiarów PWS mogą być zakłócone przez warunki, jakie stwarza otoczenie miejsca instalacji stacji. Najczęściej są to dachy budynków. Wyniki mogą zależeć także od sposobu ekspozycji przyrządów pomiarowych oraz przez różnego rodzaju kolektory opadowe. Niestety żadna z wybranych czterech sieci osobistych stacji meteorologicznych nie informuje odbiorców danych pochodzących z PWS o miejscu instalacji stacji, a co za tym idzie reprezentatywności stanowiska pomiaru opadu. Informacja najczęściej ogranicza się do podania rodzaju stacji i przybliżonych współrzędnych geograficznych.

**Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, że wszystkie cele rozprawy zostały osiągnięte, a hipoteza udowodniona.**

Autorski wkład opisany w niniejszej rozprawie doktorskiej:

- Opracowanie poradnika sytuowania, działania i kontroli jakości amatorskich stacji meteorologicznych.

- Opracowanie procedury oceny jakości wybranych danych pomiarowych z amatorskich stacji na podstawie optymalnej lokalizacji czujników.
- Opracowanie procedury włączenia danych z systemu APRS do systemu pomiarowo-obszerwacyjnego IMGW-PIB.
- Opracowanie kodów pobierających dane z systemu APRS oraz wykonujących pierwszą, podstawową kontrolę jakości. Analiza dokładności amatorskich stacji meteorologicznych wykazała, że są one przydatnym źródłem nowych danych, które mogą zostać wykorzystane przez IMGW-PIB pod warunkiem spełnienia określonych kryteriów, które zawarte zostały w poradniku.

Wyniki pracy upowszechnione będą w Internecie i dostępne dla społeczeństwa oraz organów administracji publicznej. Projekt ma przyczynić się do:

- Poprawy bezpieczeństwa oraz zdrowia i życia obywateli, poprzez uzyskanie dodatkowego źródła danych o procesach zachodzących w atmosferze.
- Wzrostu poziomu innowacyjności Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej.
- Kształtowania pozytywnego wizerunku nauki w społeczeństwie poprzez otwarcie się na obywatelskie źródła danych meteorologicznych.
- Rozpowszechnienia wiedzy w zakresie monitorowania, bezpieczeństwa i przewidywania niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych zachodzących w atmosferze.

## 9. Bibliografia

1. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy. Hydrologiczno-Meteorologiczna Sieć Pomiarowo-Obserwacyjna IMGW-PIB. [Online] [Zacytowano: 30 Czerwiec 2019.] <http://hmspo.imgw.ad/>.
2. Davis Instruments. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.davisinstruments.com/pages/vantage-pro2>.
3. Netatmo. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.netatmo.com/>.
4. Conrad. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.conrad.pl/>.
5. TFA Dostmann. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.tfa-dostmann.de/>.
6. Oregon Scientific. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.oregonscientificstore.com/>.
7. Davis Instruments. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.davisinstruments.com/>.
8. Davis Instruments. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.davisinstruments.com/pages/weatherlink-live>.
9. WiFiLogger. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://wifilogger.net/index.html>.
10. Meteobridge. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] [https://www.meteobridge.com/wiki/index.php/Meteobridge\\_NANO\\_SD](https://www.meteobridge.com/wiki/index.php/Meteobridge_NANO_SD).
11. MeteoPi. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://meteopi.com/>.
12. WeatherLink. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.weatherlink.com/>.
13. Cumulus weather station software. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://cumulus.hosiene.co.uk/index.php>.
14. Virtual Weather Station. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://ambientweather.com/ambient-weather-data>.
15. Weather Display weather station software. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.weather-display.com/>.
16. Afterten Software. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.afterten.com/>.
17. Weatherstation Operation and Data Acquisition Software. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.pc-wetterstation.de/enindex.html>.
18. Thunderhead Technologies. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://www.thunderheadtech.com/>.
19. Bell S., Cornford D. i Bastin L. How Good Are Citizen Weather Stations? Addressing a Biased Opinion. *Weather*. 2015, Tom 70, 3, strony 75-84.
20. —. The state of automated amateur weather observations. *Weather*. 2013, Tom 68, 2, strony 36-41.

21. Jenkins G. A Comparison between Two Types of Widely Used Weather Stations. *Weather*. 2014, Tom 69, 4, strony 105-110.
22. Meier F. i inni. Crowdsourcing Air Temperature from Citizen Weather Stations for Urban Climate Research. *Urban Climate*. 2017, Tom 19, strony 170–191.
23. Chapman L., Bell C. i Bell S. Can the Crowdsourcing Data Paradigm Take Atmospheric Science to a New Level? A Case Study of the Urban Heat Island of London Quantified Using Netatmo Weather Stations. *International Journal of Climatology*. 2017, Tom 37, 9, strony 3597–3605.
24. Fenner D. i inni. Intra and Inter ‘Local Climate Zone’ Variability of Air Temperature as Observed by Crowdsourced Citizen Weather Stations in Berlin, Germany. *Meteorologische Zeitschrift*. 2017, strony 525-547.
25. Golroudbary V.R. i inni. Urban Impacts on Air Temperature and Precipitation over The Netherlands. *Climate Research*. 2018, Tom 75, 2, strony 95–109.
26. Napoly A. i inni. Development and Application of a Statistically-Based Quality Control for Crowdsourced Air Temperature Data. *Frontiers in Earth Science*. 2018, Tom 6.
27. de Vos L. i inni. The Potential of Urban Rainfall Monitoring with Crowdsourced Automatic Weather Stations in Amsterdam. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017, Tom 21, 2, strony 765–777.
28. *Trust Me, My Neighbors Say It’s Raining Outside: Ensuring Data Trustworthiness for Crowdsourced Weather Stations*. Chen A.B., Behl M. i Goodall J.L. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2018. Proceedings of the 5th Conference on Systems for Built Environments. strony 25-28.
29. Bárdossy A., Seidel J. i El Hachem A. The Use of Personal Weather Station Observations to Improve Precipitation Estimation and Interpolation. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2021, Tom 25, 2, strony 583–601.
30. Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network. [Online] [Zacytowano: 22 Czerwiec 2023.] <https://www.cocorahs.org/>.
31. Klemm S. *IOM Report, 39. Catalogue of national standard precipitation gauges*. Geneva : World Meteorological Organization, 1989.
32. Haklay M. Po Ve Sham – Muki Haklay's personal blog. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] <https://povesham.wordpress.com/>.
33. Wikipedia - wolna encyklopedia. [Online] [Zacytowano: 17 Czerwiec 2023.] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Nauka\\_obywatelska](https://pl.wikipedia.org/wiki/Nauka_obywatelska).
34. Wehn U. i inni. Citizen observatories as facilitators of change in water governance? Experiences from three European cases. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2015, Tom 14, 9, strony 2073–2086.
35. Barnard L. i inni. The National Eclipse Weather Experiment: An Assessment of Citizen Scientist Weather Observations. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2016, Tom 375, 2077, strony 1471-2962.

36. *Crowdsourcing rare events: using curiosity to draw participants into science and early warning systems*. Tapia A.H. i inni. University Park, Pennsylvania, USA : brak nazwiska, 2014. International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management.
37. *From Conservation to Crowdsourcing: A Typology of Citizen Science*. Wiggins A. i Crowston K. Kauai, HI, USA : brak nazwiska, 2011. 44th Hawaii International Conference on System Sciences. strony 1-10.
38. Weather Underground. [Online] [Zacytowano: 18 Czerwiec 2023.] <https://www.wunderground.com/>.
39. Weathercloud. [Online] [Zacytowano: 18 Czerwiec 2023.] <https://weathercloud.net/en>.
40. aprs.fi - live APRS map. [Online] [Zacytowano: 18 Czerwiec 2023.] <https://pl.aprs.fi/>.
41. PWS Weather. [Online] [Zacytowano: 18 Czerwiec 2023.] <https://www.pwsweather.com/>.
42. Automatisches WEtterKArten System - AWEKAS. [Online] [Zacytowano: 18 Czerwiec 2023.] <https://www.awekas.at/wp/?lang=en>.
43. Global Observing System. *World Meteorological Organization*. [Online] [Zacytowano: 18 Czerwiec 2023.] <https://public.wmo.int/en/programmes/global-observing-system>.
44. Derek P. i inni. *Instrukcja dla stacji meteorologicznych*. [red.] Klejnowska E. Warszawa : Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, 2015.
45. Davis Instruments. [Online] [Zacytowano: 22 Czerwiec 2023.] <https://www.davisinstruments.com/pages/vantage-vue>.
46. Bürkner P.-C. Advanced Bayesian Multilevel Modeling with the R Package Brms. *The R Journal*. 2018, Tom 10, 1, strony 395–411.
47. —. Brms: An R Package for Bayesian Multilevel Models Using Stan. *Journal of Statistical Software*. 2017, Tom 80, strony 1–28.
48. McElreath R. *Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and STAN*. 2. New York : Chapman and Hall/CRC, 2020. ISBN 978-0-429-02960-8.
49. Kruschke J. *Doing Bayesian Data Analysis: A Tutorial with R, JAGS, and Stan*. 2. MA, USA : Academic Press: Cambridge, 2014. ISBN 978-0-12-405916-0.
50. Kruschke J.K. i Liddell T.M. Bayesian Data Analysis for Newcomers. *Psychon Bull Rev*. 2018, Tom 25, 1, strony 155-177.
51. Carpenter B. i inni. Stan: A Probabilistic Programming Language. *Journal of Statistical Software*. 2017, Tom 76, strony 1-32.
52. Vehtari A., Gelman A. i Gabry J. Practical Bayesian Model Evaluation Using Leave-One-out Cross-Validation and WAIC. *Stat Comput*. 2017,, Tom 27, 5, strony 1413-1432.
53. Bishara A.J. i Hittner J.B. Testing the Significance of a Correlation with Nonnormal Data: Comparison of Pearson, Spearman, Transformation, and Resampling Approaches. *Psychological Methods*. 2012, Tom 17, 3, strony 399–417.
54. Schmider E. i inni. Is It Really Robust? *Methodology*. 2010, Tom 6, 4, strony 147-151.

55. Chomicz K. Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*. 1951, Tom 2, 3, strony 5-88.
56. Chomicz K. *Ocena rzeczywistych wysokości opadu atmosferycznego w Polsce*. Warszawa : IMGW-PIB, 1971.
57. Dębski K. *Hydrologia kontynentalna. Cz. 2. Fizyka wody, opady atmosferyczne i parowanie*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacyjne, 1959. Tom 2.
58. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy. Produkt DPSRI radaru meteorologicznego Ramża. 2020.
59. Chomicz K. Normy opadowe dla potrzeb kanalizacji miast. *Gospodarka Wodna*. 1953, Tom 13, 10.
60. Kurowska-Łazarz R. i inni. *Vademecum - Pomiar i obserwacje meteorologiczne. Meteorologiczna Osłona Kraju*. Warszawa : Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, 2015. str. 69.
61. —. *Vademecum - Pomiar i obserwacje meteorologiczne. Meteorologiczna Osłona Kraju*. Warszawa : Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, 2015.
62. A-STER s.c. Zakład Elektroniki i Automatyki Przemysłowej. Specyfikacja techniczna Aster (TGP-124-H230). Kraków : brak nazwiska.
63. Met One Instruments Inc. Specyfikacja techniczna MetOne (60030, 60030H). Washington : brak nazwiska.
64. Szturc J. i inni. Precipitation Estimation and Nowcasting at IMGW-PIB (SEINO System). *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2018, Tom 6, 1, strony 3–12.
65. Browne M.W. Cross-Validation Methods. *Journal of Mathematical Psychology*. 2000, Tom 44, 1, strony 108–132.
66. Wang Y., Sivandran G. i Bielicki J.M. The Stationarity of Two Statistical Downscaling Methods for Precipitation under Different Choices of Cross-Validation Periods. *International Journal of Climatology*. 2018, Tom 38, 1, strony 330-348.
67. Radhakrishnan C. i inni. Cross Validation of TEMPEST-D and RainCube Observations Over Precipitation Systems. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2022, Tom 15, strony 7826-7838.
68. Łupikasza E. Metody analiz przestrzennych w badaniu zmienności opadów w Europie. *Roczniki Geomatyki - Annals of Geomatics*. 2007, Tom 5, 1, strony 71-80.
69. Charles T. da S. i inni. Estimating average annual rainfall by ordinary kriging and TRMM precipitation products in midwestern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. Tom 118.
70. Gong G., Mattevada S. i O'Bryant S.E. Comparison of the Accuracy of Kriging and IDW Interpolations in Estimating Groundwater Arsenic Concentrations in Texas. *Environmental Research*. 2014, Tom 130, strony 59-69.
71. Aspexit - supporting the use of digital tools in agriculture. [Online] 23 06 2023. <https://www.aspexit.com/variogram-and-spatial-autocorrelation/>.

72. Rojas-González A.M., Harmsen E.W. i Pol S.C. Performance Evaluation of MPE Rainfall Product at Hourly and Daily Temporal Resolution within a Hydro-Estimator Pixel. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 2009, Tom 5, 7.
73. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy. Produkt RainGRS. 2020.
74. —. Dane publiczne IMGW-PIB - mapa synoptyczna. [Online] [Zacytowano: 2 Lipiec 2023.] <https://danepubliczne.imgw.pl/datastore>.
75. (WMO) Organization. *Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8)*. Geneva : World Meteorological Organization (WMO), 2018 and 2021 editions. str. 224. ISBN 978-92-63-10008-5.
76. Rózdżyński K. *Podstawy telemetrycznego miernictwa meteorologicznego*. Warszawa : Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, 2004. str. 478. ISBN 83-88897-37-3.
77. Janiszewski F. *Instrukcja dla stacji meteorologicznych*. Warszawa : Wydawnictwa Geologiczne, 1988.
78. World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. [Dokument] Seventh edition, updated 2010, No. 8, Geneva : WMO, 2010.
79. —. *Guide to the Implementation of Quality Management Systems for National Meteorological and Hydrological Services and Other Relevant Service Providers (WMO-No.1100)*. Geneva : brak nazwiska, 2017. str. 107.
80. —. *Guide on the Global Data-processing System (GDPS) WMO - No. 305*. [Przewodnik] Geneva : WMO, 1993. ISBN 92-63-13305-0.
81. The Internet Classics Archive. Meteorology by Aristotle. Written 350 B.C.E. Translated by E. W. Webster. [Online] 24 Czerwiec 2023. <http://classics.mit.edu/Aristotle/meteorology.html>.
82. Louie P.Y.T. i Yang D. *IOM Report, 67. WMO Solid precipitation measurement intercomparison - final report*. Geneva : World Meteorological Organization (WMO), 1998. str. 212.
83. Nešpor V. i Sevruk B. Estimation of Wind-Induced Error of Rainfall Gauge Measurements Using a Numerical Simulation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 1999, Tom 16, 4, strony 450-464.
84. Centrum Modelowania Meteorologicznego IMGW-PIB. Dane publiczne IMGW-PIB - CMM synop. [Online] [Zacytowano: 10 Czerwiec 2023.] <https://danepubliczne.imgw.pl/datastore>.
85. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy. Hydro IMGW-PIB. [Online] [Zacytowano: 11 Czerwiec 2023.] <https://hydro.imgw.pl/>.
86. Stull R.B. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Dordrecht : Springer Netherlands, 1988.
87. Oke T.R. *Boundary Layer Climates*. 2. London : Routledge, 1987. str. 464. ISBN 978-0-203-40721-9.
88. Vujovic S. i inni. Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. *CivilEng*. 2012, Tom 2, 2, strony 459-484.



89. (UIUC) Department of Atmospheric Sciences (DAS) at the University of Illinois Urbana-Champaign. WW2010 (the weather world 2010 project). *Pressure with Height*. [Online] Department of Atmospheric Sciences (DAS) at the University of Illinois at Urbana - Champaign., 12 Czerwiec 2023. <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/%28Gh%29/guides/mtr/prs/hght.rxml>.
90. Leahy A. Evangelista Torricelli and the “Common Bond of Truth” in Greek Mathematics. *Mathematics Magazine*. 2014, Tom 87, 3, strony 174–184.
91. Fiolek A. i Doria B. *Pioneers in modern meteorology and climatology. Vilhelm and Jacob Bjerknes: a selected bibliography*. Seattle : NOAA Central Library American Meteorological Society, 2004.
92. Britannica Encyclopædia. Cyclogenesis, description, stages, & facts. [Online] [Zacytowano: 10 Czerwiec 2023.] <https://www.britannica.com/science/cyclogenesis>.
93. <https://awiacja.imgw.pl/>. [meteo.imgw.pl](https://awiacja.imgw.pl/). *Awiacja IMGW-PIB*. [Online] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy. [Zacytowano: 9 Czerwiec 2023.] <https://awiacja.imgw.pl/> .
94. FORBOT. *7 typów baterii jednorazowych, które warto znać*. [Online] [Zacytowano: 1 Lipiec 2023.] <https://forbot.pl/blog/7-typow-baterii-jednorazowych-ktore-warto-znac-id52624>.
95. APRS: Automatic Packet Reporting System. [Online] [Zacytowano: 25 Czerwiec 2023.] <http://www.aprs.org/>.
96. Beech, William A., Nielsen, Douglas E. i Noo J. *AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio, Version: 2.2 Rev*. Tuscon : Technical report, Tucson Amateur Radio Corporation, 1997.
97. Andrzej B. APRS Poland. [Online] [Zacytowano: 22 Styczeń 2023.] <http://www.aprs.pl/>.
98. Finnegan, K.W. *Examining Ambiguities in the Automatic Packet Reporting System*. San Luis Obispo, California : California Polytechnic State University, 2014.
99. Bruninga B. APRS: Automatic Packet Reporting System. *APRS SPEC Addendum 1.2 Proposals*. [Online] [Zacytowano: 25 Czerwiec 2023.] <http://www.aprs.org/aprs12/weather-new.txt>.
100. —. APRS: Automatic Packet Reporting System. *Protocol 8.2.8 APRS ON-AIR Protocols and Formats*. [Online] [Zacytowano: 25 Czerwiec 2023.] <http://www.aprs.org/APRS-docs/PROTOCOL.TXT>.
101. Weather Watch Forum. [Online] [Zacytowano: 25 Czerwiec 2023.] <https://www.weather-watch.com/smf/index.php/board,13.0.html>.
102. APRS-IS. [Online] [Zacytowano: 25 Czerwiec 2023.] <http://www.aprs-is.net/>.
103. FindU. [Online] 2 Lipiec 2023. <http://www.findu.com/>.
104. National Oceanic and Atmospheric Administration. *Meteorological Assimilation Data Ingest System (MADIS)*. [Online] [Zacytowano: 2 Lipiec 2023.] <https://madis-data.ncep.noaa.gov/>.
105. Citizen Weather Observer Program. [Online] [Zacytowano: 25 Czerwiec 2023.] <http://wxqa.com/index.html>.

## **10. Załączniki.**

### **10.1. Poradnik dla amatorskich stacji meteorologicznych.**

#### **10.1.1. Przedmowa.**

Od czasu wynalezienia pisma, człowiek zapisywał wydarzenia naturalne, tak jak ruch Ziemi, Księżycy, planet i gwiazd. Tezy o tym, jak powstają zjawiska pogodowe, zostały udokumentowane w traktacie „Meteorologia” Arystotelesa w 350 r. p.n.e. Wprawdzie traktat ten przyczynił się do powstania meteorologii jako dyscypliny naukowej, wprowadził również kilka pojęć, które w tamtych czasach nie mogły być obiektywnie zmierzone.

Arystoteles tak definiował meteorologię:

„Zajmuje się ona wydarzeniami, które są naturalne, choć ich porządek jest mniej doskonały niż porządek pierwotnych elementów ciał. Wydarzenia te mają miejsce w rejonie najbliższym ruchowi gwiazd. Takimi są Droga Mleczna, komety i ruchy meteorów. Meteorologia bada również wszystkie oddziaływania, które możemy nazwać wspólnymi dla powietrza i wody, a także rodzaje i części Ziemi oraz oddziaływania jej części. Te rzucają światło na przyczyny wiatrów, trzęsień ziemi i wszystkie konsekwencje wynikające z ruchów tych rodzajów i części. Z tych rzeczy niektóre są dla nas zagadką, podczas gdy inne dają się do pewnego stopnia wytłumaczyć. Dalej, badanie dotyczy spadania piorunów, wichrów i ognistych wiatrów, a także powtarzających się zjawisk wywołanych w tych samych ciałach przez konkrecję” (81).

Można domniemać, iż ludzie rozmyślali o pogodzie, odkąd tylko zaczęli myśleć, lecz grecki filozof Arystoteles był pierwszą osobą, która zorganizowała i zapisała swoje rozważania na temat pogody w systematyczny sposób. Arystoteles zmagał się w wieloma pytaniami, nad którymi do dziś głowią się meteorolodzy: jakie są mechanizmy elektryzacji chmur, dlaczego opady sezonowe różnią się w zależności od regionu, jaki jest związek między wysokością chmur a opadami, skąd bierze się kierunek i prędkość wiatru.

Pytania były zasadne i wnikliwe, niestety większość odpowiedzi była błędna. Główny problem Arystotelesa polegał na tym, że wszystkie swoje wyjaśnienia opierał na dwóch fałszywych założeniach. Po pierwsze, że Ziemia znajduje się w centrum kosmosu, a po drugie, co jest jeszcze bardziej błędne, że cztery żywioły, czyli ziemia, woda, powietrze i ogień tworzą wszystko w naszym świecie, łącznie z pogodą. Zamiast patrzeć przez okno i badać, co pada z nieba, Arystoteles próbował umieścić zjawiska atmosferyczne w teorii czterech żywiołów.

Meteorologia Arystotelesa nie dała nam solidnych podstaw nauki o pogodzie, jednakże ustanowiła meteorologię jako odrębną dziedzinę nauki, a co ważniejsze, oparła tę nową dyscyplinę na założeniu, że cokolwiek dzieje się na niebie, ma racjonalne wytłumaczenie. Co najważniejsze, dzieło miało chwytliwy tytuł, którego wciąż używamy ponad 2000 lat później.

Dopiero wynalezienie instrumentów meteorologicznych (1500 – 1900) i standardów pomiarów meteorologicznych pozwoliło rozwinąć się meteorologii i naukowo obalić wiele z pierwotnych koncepcji meteorologii Arystotelesa.

Współczesnym pokoleniom, zaawansowane czujniki, technologie obliczeniowe i komunikacyjne zapewniają środki do światowej rewolucji w obserwacjach i pomiarach składników pogody. W miarę jak technologie stają się wszechobecne, mamy możliwość dokumentowania środowiska w czasie i przestrzeni na skalę, która nigdy wcześniej nie była możliwa, włączając w to mapowanie zmienności opadów i wzrostu temperatury powietrza w miastach (wyspy ciepła) oraz globalny monitoring klimatu. Niemniej jednak, tylko dzięki skrupulatnym obserwacjom i standaryzacji pomiarów dane te będą miały konkretny wpływ na dalsze poznawanie procesów zachodzących w atmosferze.

Celem niniejszego poradnika jest zapewnienie informacji i edukacji właścicielom amatorskich stacji meteorologicznych, twórcom oprogramowania i producentom sprzętu na temat pożądanej wydajności przy wykonywaniu obserwacji i pomiarów. Poradnik ma także na celu zachęcenie przyszłych właścicieli amatorskich stacji meteorologicznych do zapoznania się wytycznymi dotyczącymi wydajności systemu przy wyborze niskobudżetowych stacji meteorologicznych, aby określić, którzy dostawcy spełniają te wytyczne. Poradnik ma także zachęcić twórców aplikacji pogodowych do korzystania z niniejszych wytycznych w celu przetwarzania surowych danych zgodnie z zaleceniami w zakresie pobierania danych i raportowania.

Przedstawione w tym poradniku wytyczne są bardzo zbliżone do standardów używanych przez profesjonalną społeczność meteorologiczną i narodowe służby meteorologiczne. Osiągnięcie profesjonalnej wydajności przy użyciu technologii, której koszt jest niewielki w porównaniu z ceną profesjonalnej stacji meteorologicznej, jest możliwe, jeśli zachowa się staranność podczas instalacji i poprzez monitorowanie wydajności sprzętu. Ważne, aby stacje meteorologiczne dokonywały pomiarów i przesyłały raportowały zgodnie z procedurami zawartymi w niniejszym poradniku, umożliwiając wiarygodne porównywanie

z raportami pobliskich, profesjonalnych stacji meteorologicznych oraz z danymi klimatologicznymi dla danego obszaru.

Należy zdawać sobie sprawę, że nie we wszystkich przypadkach możliwe jest idealne rozmieszczenie i działanie sprzętu. Powinno się jednak zachęcać obserwatorów pogodowych do maksymalnego wykorzystania możliwości lokalizacyjnych i technologicznych, aby jak najbardziej zbliżyć się do niniejszych wytycznych. W przypadku, gdy drzewa zniekształcają pomiary prędkości wiatru lub gdy czujniki temperatury powietrza muszą być umieszczone na dachu, w większości przypadków dane nadal będą miały pewną wartość. Nie należy pozwolić, aby niedoskonałe warunki uniemożliwiały przekazywanie danych do sieci.

### **10.1.2. Po pierwsze bezpieczeństwo.**

Podczas konfiguracji i obsługi sprzętu amatorskich stacji meteorologicznych należy zachować ostrożność. Szczególną ostrożność należy zachować podczas instalacji masztu anemometru. Zagrożenia obejmują porażenie prądem elektrycznym, upadek z dachu lub drabiny oraz porażenie piorunem. Należy zwrócić szczególną uwagę na bliskość linii energetycznych. Jeśli linie energetyczne znajdują się w jakimkolwiek punkcie w odległości mniejszej niż długość używanego masztu antenowego lub słupa montażowego, użytkownik znajduje się w szczególnie niebezpiecznej sytuacji. Należy przestrzegać wszystkich procedur instalacyjnych producenta sprzętu, aby zmaksymalizować wydajność i bezpieczeństwo urządzeń. W razie potrzeby, w celu zainstalowania sprzętu, należy skorzystać z usług profesjonalnych wykonawców. W celu zmniejszenia ryzyka szkód spowodowanych uderzeniem pioruna należy uziemić czujniki zewnętrzne zgodnie z instrukcjami producenta.

Wykonywanie obserwacji i pomiarów meteorologicznych to bez wątpienia piękne i popularne wśród pasjonatów meteorologii hobby. Ważne jest jednak to, by było ono bezpieczne. W czasie przeprowadzania obserwacji można popełnić błędy, które nie tylko mogą spowodować uszkodzenie sprzętu, ale co jest najważniejsze, prowadzić do poważnych obrażeń organizmu obserwatora. Poniżej prezentowane są najważniejsze zasady bezpiecznego przeprowadzania obserwacji meteorologicznych, czyli na co zwrócić uwagę:

- Nie patrz „gołym okiem” bezpośrednio na Słońce. Twoje oczy to najbardziej wrażliwe części Twojego ciała, które potrzebują opieki, aby móc zapewnić Ci dobry wzrok. Spoglądanie bezpośrednio w kierunku Słońca może skutkować nieodwracalnym uszkodzeniem wzroku a nawet jego utratą. Jeszcze większą krzywdę możesz zrobić sobie obserwując Słońce przez przyrządy optyczne (aparat fotograficzny, luneta, lornetka), które

są pozbawione odpowiednich filtrów. Nie powinno się też oglądać Słońca przez kliszę fotograficzną, rentgenowską, płytę CD, okulary do filmów 3D a nawet okulary przeciwsłoneczne.

- Sprawdź otoczenie wokół siebie zanim zaczniesz wykonywać obserwacje meteorologiczne. Podczas takich obserwacji często zapominamy o otaczającym nas świecie. Taka nieuwaga to duży błąd. Możemy się potknąć, przewrócić lub wejść pod jadącą ulicą samochód.
- Nie wykonuj obserwacji, gdy chodzisz. Wystarczy małe zagłębienie terenu, kamień czy krawężnik, nie mówiąc już o klifie, by się przewrócić. Gdy chcesz się przemieścić, opuść aparat czy telefon i patrz, gdzie idziesz.
- Nie chodź bokiem i tyłem. Gdy wykonujesz obserwacje meteorologiczne i musisz cofnąć się o parę kroków nie rób tego tyłem. Opuść aparat lub telefon, obróć się, wykonaj dwa kroki i obróć się z powrotem.
- Zawsze stój pewnie na dwóch nogach. Nie wchodź na drabiny, na mury, nie zbliżaj się do krawędzi urwisk, zachowuj bezpieczną odległość od jadących samochodów.
- Nigdy się nie śpiesz. Pośpiech jest złym doradcą a żadne spostrzeżenia, obserwacje, pomiary, czy piękne zdjęcie nie są warte utraty zdrowia czy życia.
- Przed wyjściem z domu, sprawdź aktualną pogodę oraz prognozę i dopasuj ubranie do warunków atmosferycznych. Nosząc ubranie dopasowane do panującej pogody chronisz organizm przed nadmiernym wychłodzeniem lub przegrzaniem.
- Podczas burzy uważaj wykonując obserwacje. Gdy jesteś poza domem:
  - Jak najszybciej znajdź bezpieczne schronienie.
  - Unikaj przebywania pod drzewami.
  - Unikaj przebywania na otwartej przestrzeni.
  - Jeśli znajdujesz się na otwartej przestrzeni – znajdź, o ile to możliwe, obniżenie terenu (staraj się nie być najwyższym punktem) i kucnij (nie siadaj i nie kładź się) ze złączonymi i podciągniętymi pod siebie nogami. Nogi powinny być złączone, ponieważ w przypadku uderzenia pioruna, na skutek powstania różnicy napięć (tzw. napięcia krokowego) może dojść do przepływu prądu między stopami.
  - Jeśli przebywasz w grupie, na otwartej przestrzeni, grupa powinna się rozproszyć na odległość kilkudziesięciu metrów, aby w przypadku uderzenia pioruna część grupy mogła udzielić pomocy porażonym.
  - Unikaj dotykania przedmiotów wykonanych z metalu oraz przebywania w ich pobliżu – przedmioty metalowe mogą „przyciągać” pioruny.

- o Jeśli widzisz zwisające przewody elektryczne, natychmiast powiadom odpowiednie służby. Nigdy do nich nie podchodź!

Wszelkie niezbędne informacje dostępne są w serwisie pogodowym IMGW-PIB: [meteo.imgw.pl](http://meteo.imgw.pl), w aplikacji mobilnej: aplikacja [meteo.imgw.pl](http://meteo.imgw.pl) oraz na profilu facebookowym: Burza-Alert-IMGW. Pamiętaj o alertach RCB, które otrzymujesz bezpośrednio na swoje urządzenie mobilne.

### **10.1.3. Parametry.**

#### **10.1.3.1. Temperatura powietrza i punktu rosy.**

*Znów drobny spór, barometr zjeżdża w dół*

*Prywatne niebo już mgłą się zasnuwa*

*Tak bym chciała mieć prognozę naszych serc*

*Na życie, miesiąc, dzień mapę prognoz*

*Niech sputnik hen wykona serię zdjęć*

*Bym mogła wiedzieć jak*

*Przewidzieć nasz stan pogody*

*Słońce to my, ciemne chmury to my*

*Nagle sztormy, letnie burze*

*Suche wyżej to my, mokre niżej*

*Taki deszcz, że ulewa aż śpiewa*

*Słońce to my, ciemne chmury to my*

*Nagle sztormy, ranne mgły*

*Czasem mżawka, czasem grad*

*Czasem mróz aż strach*

*Stan pogody, Anna Jurkaszewicz. <https://tiny.pl/9shvw>*

Temperatura powietrza i wilgotność powietrza są najbardziej podstawowymi parametrami meteorologicznymi. Każdy chce znać aktualną i przyszłą temperaturę powietrza, aby zaplanować swój dzień i prowadzić codzienne życie. Niezależnie od tego, czy ktoś zajmuje się odśnieżaniem, wytwarzaniem energii elektrycznej, czy sprzedają płaszczy zimowych, wiedza na temat temperatury powietrza ma decydujące znaczenie dla jego działalności.

Wiele osób wychodzi z błędnego założenia, że dokładny pomiar temperatury i wilgotności powietrza jest łatwy. Tak jednak nie jest. Pomiar może być błędny i nieprzydatny, jeśli nie postępuje się właściwie.

**Celem** pomiaru temperatury powietrza jest określenie ilości energii cieplnej zgromadzonej w atmosferze. Podstawową koncepcją jest to, że pomiar temperatury powietrza w danym punkcie jest reprezentatywny dla pobliskiej atmosfery.

Warunki, które sprawiają, że pomiary temperatury powietrza są niereprezentatywne to:

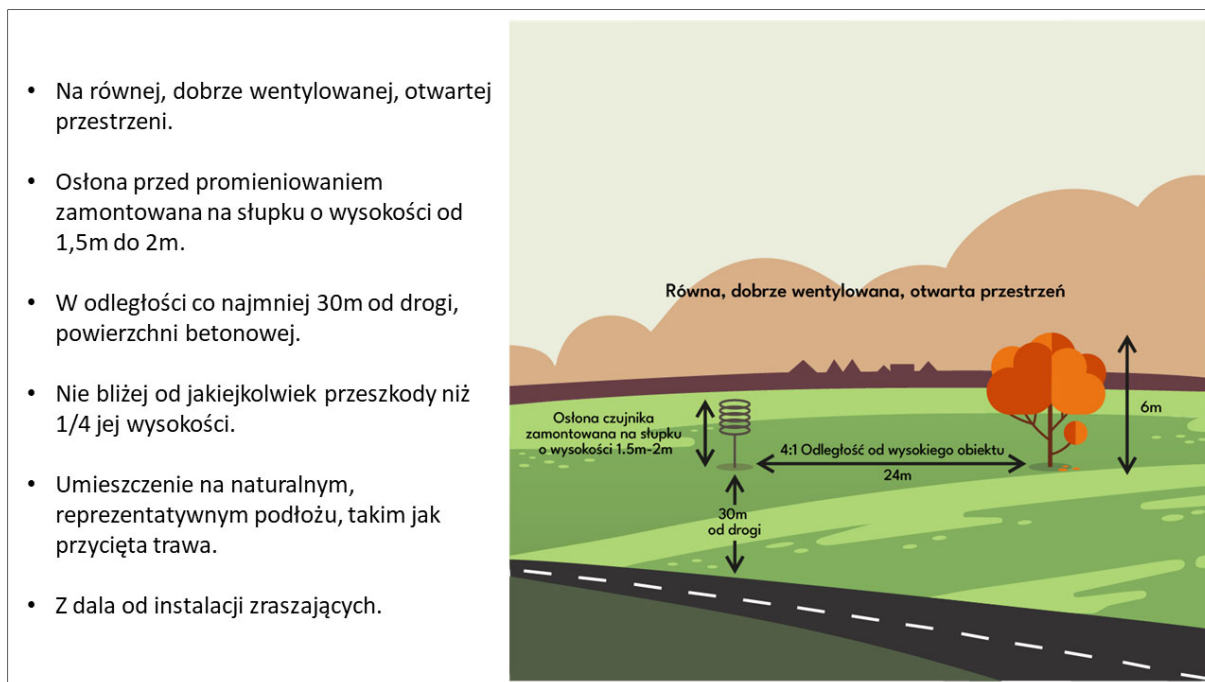
- Bezpośrednia ekspozycja na promienie słoneczne (promieniowanie krótkofalowe) powoduje niepożądane nagrzewanie się czujnika temperatury powietrza. Można tego uniknąć stosując osłonę radiacyjną, aby ograniczyć ekspozycję na bezpośrednie lub pośrednie światło słoneczne. Pomiary temperatury powietrza można dodatkowo udoskonalic stosując osłonę aktywną (wentylator).
- Miejscowe źródła ogrzewania lub chłodzenia. Ogrzewanie lub chłodzenie czujnika temperatury powietrza przez pobliskie źródła, takie jak spaliny z klimatyzacji, pompy ciepła, gonty dachowe lub chodnik i asfalt, skutkuje niereprezentatywnymi pomiarami. Umieszczenie czujnika temperatury powietrza odpowiednio daleko od źródła miejscowego ogrzewania lub chłodzenia pozwala wyeliminować problem.

**Usytuowanie.** Przedstawienie wytycznych dotyczących czujników temperatury powietrza i punktu rosy.

Wydajność systemu można poprawić poprzez kombinację skalibrowanych czujników, odpowiedniej osłony termicznej i optymalnego rozmieszczenia czujników (Rys. 37). Spójne wyniki pomiarów temperatury powietrza można osiągnąć tylko dzięki odpowiednio osłoniętemu termometrowi, który gwarantuje, że promieniowanie słoneczne nie spowoduje wygenerowania błędnie wysokich temperatur powietrza.

Poniżej przedstawiono wytyczne dotyczące rozmieszczenia czujników temperatury powietrza i punktu rosy (opracowanie własne):

- Czujnik należy umieszczać na równej powierzchni i unikać stromych zboczy, chyba że jest to typowe dla danego obszaru.
- Czujnik należy umieszczać na otwartej przestrzeni w celu umożliwienia wentylacji i mieszania się powietrza.



Rys. 37. Rozmieszczenie czujników temperatury powietrza i punktu rosy. Opracowanie własne.

- Należy stosować osłonę przed promieniowaniem słonecznym, zamontowaną na słupku o wysokości 1,5 m do 2 m.
- Czujnik należy umieszczać w odległości co najmniej 30 m od drogi, betonu.
- Jeśli to możliwe, czujnika nie należy umieszczać bliżej niż czterokrotność wysokości pobliskich przeszkód.
- Preferowane pokrycie podłoża to trawa, przycięta wystarczająco krótko, aby umożliwić swobodne mieszanie się powietrza między podłożem a czujnikiem. Czujnik temperatury powietrza, punktu rosy może być również umieszczony nad ziemią lub inną naturalną pokrywą gruntową, jeżeli jest ona reprezentatywna dla danego regionu (np. w miejscu pól suchym).

### **Standardy, jednostki i jakość pomiarów.**

Przy zakupie niskobudżetowej stacji meteorologicznej lub przy ocenie jakości istniejącej stacji meteorologicznej należy skorzystać z następujących wytycznych przedstawionych w tabeli (Tab. 24), dotyczących oceny jakości systemu.

W celu zmniejszenia niewielkich różnic w pomiarach sekundowych, które są przypisywane błędom termorezystora oraz błędom przetwarzania danych i nie są reprezentatywne dla temperatury otoczenia, sugeruje się następujące interwały czasowe dla pomiarów:



- temperatura powietrza: średnia z ostatnich 5 minut;
- temperatura punktu rosy: średnia z ostatniej 1 minuty.

Tab. 24. Standardy efektywności pomiaru temperatury powietrza i punktu rosy. Opracowanie własne.

Parametr mierzony	Jednostki	Dokładność	Zakres	Rozdzielczość
Temperatura powietrza	Stopnie (°C)	a. +/- 1,1°C	- 62°C do - 50°C	0,1°C
		b. +/- 0,6°C	- 50°C do + 50°C	0,1°C
		c. +/- 1,1°C	+ 50°C do + 54°C	0,1°C
Temperatura punktu rosy	Stopnie (°C)	a. +/- 2,2°C	- 34°C do - 24°C	0,1°C
		b. +/- 1,7°C	- 24°C do -01°C	0,1°C
		c. +/- 1,1°C	- 01°C do + 30°C	0,1°C

W celu wykonania podstawowej kontroli jakości danych pochodzących z pomiarów amatorskich stacji meteorologicznych zaleca się stosowanie następujących zakresów kontrolnych (Tab. 25).

Tab. 25. Zakresy kontrolne do badania poprawności i spójności czasowej pomiaru. Opracowanie własne.

Kontrola jakości	
Parametr	Prawidłowy dla zakresu:
Temperatura powietrza	od - 50°C do + 55°C
Temperatura punktu rosy	od - 67°C do + 32°C
Wilgotność względna	0 – 100%
Czasowe kontrole spójności	
Parametr	Prawidłowy przy zmianie mniejszej od:
Temperatura powietrza	1,6°C/h
Temperatura punktu rosy	1,6°C/h

### 10.1.3.2. Opad atmosferyczny.

*A w Krakowie na Brackiej pada deszcz*

*Przemęczony i senny zlew przecieka kuchenny*

*Kaloryfer jak mysz się poci też*

*Z góry na dół kałuże przepływają po sznurze*

*Nie od deszczu mokrym lecz od łez*

*Bo w Krakowie na Brackiej pada deszcz*

*Gdy zagadka istnienia zmusza mnie do myślenia*

*W korytarzu i w kuchni pada też*

*Przyklejony do ściany zwijam mokre dywany*

*Nie od deszczu mokre lecz od lez*

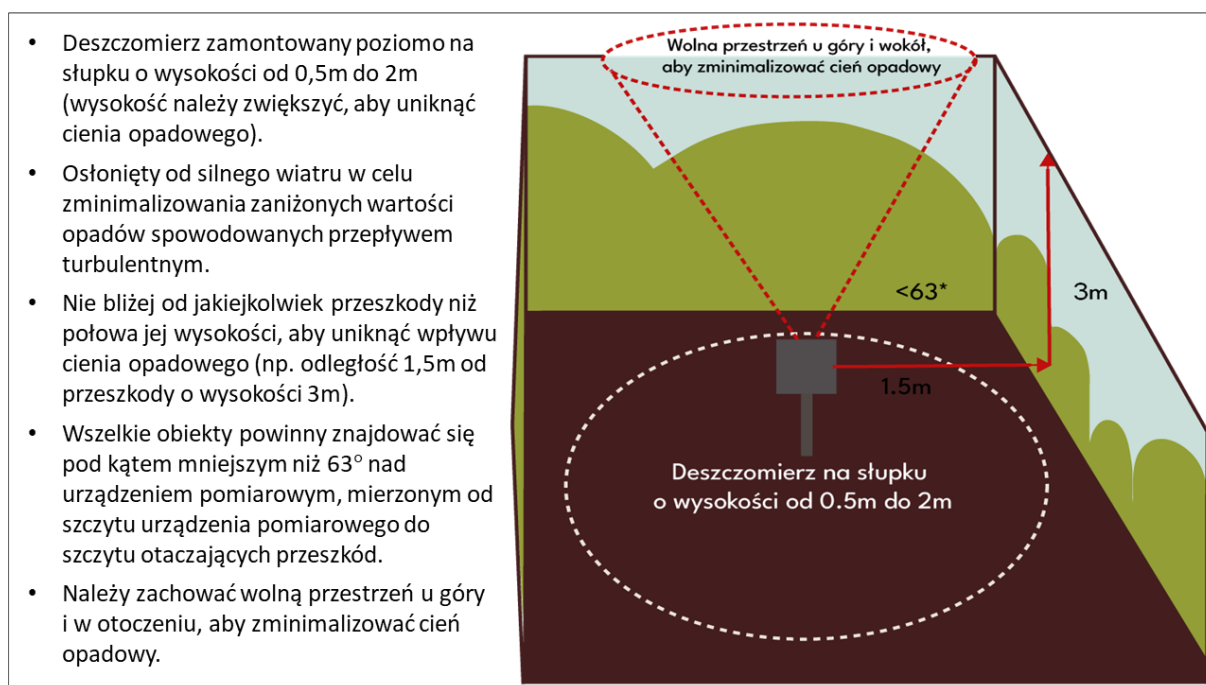
*Bracka, Grzegorz Turnau. <https://tiny.pl/xhrdn>*

Nieograniczona dostępność czystej wody do niedawna była uważana za rzecz oczywistą. Wraz z oddziaływaniem na środowisko i wzrostem populacji coraz częściej gospodaruje się zasobami wodnymi jako zasobami ograniczonymi. Efektywne zarządzanie zasobami wody słodkiej wymaga dokładnego poznania ilości wody wpływającej do dorzeczy polskich rzek, jak również wiedzy na temat ilości wody zużywanej w rolnictwie i w domach prywatnych. Obserwacje i pomiary opadu atmosferycznego prowadzone przez wolontariuszy pomagają zwiększyć ilość, terminowość i jakość informacji o opadach deszczu w dorzeczach rzek, co pomaga w zarządzaniu zasobami wodnymi i wspiera bezpieczeństwo publiczne podczas powodzi błyskawicznych. Pomiar opadu atmosferycznego pomaga również w zaprognozowaniu przez numeryczne modele pogody pól wilgotności powietrza i temperatury gleby.

**Celem** amatorskich, automatycznych stacji meteorologicznych jest dokładny pomiar skumulowanego opadu atmosferycznego. Uproszczając, pomiar opadu atmosferycznego polega na udokumentowaniu liniowej ilości opadu, który spadł w danym punkcie obserwacyjnym (pomiarowym) typowo przy pomocy deszczomierza o powierzchni recepcyjnej/zbierającej równej 200 cm<sup>2</sup> w określonym czasie. Do czynników utrudniających dokładny pomiar należą:

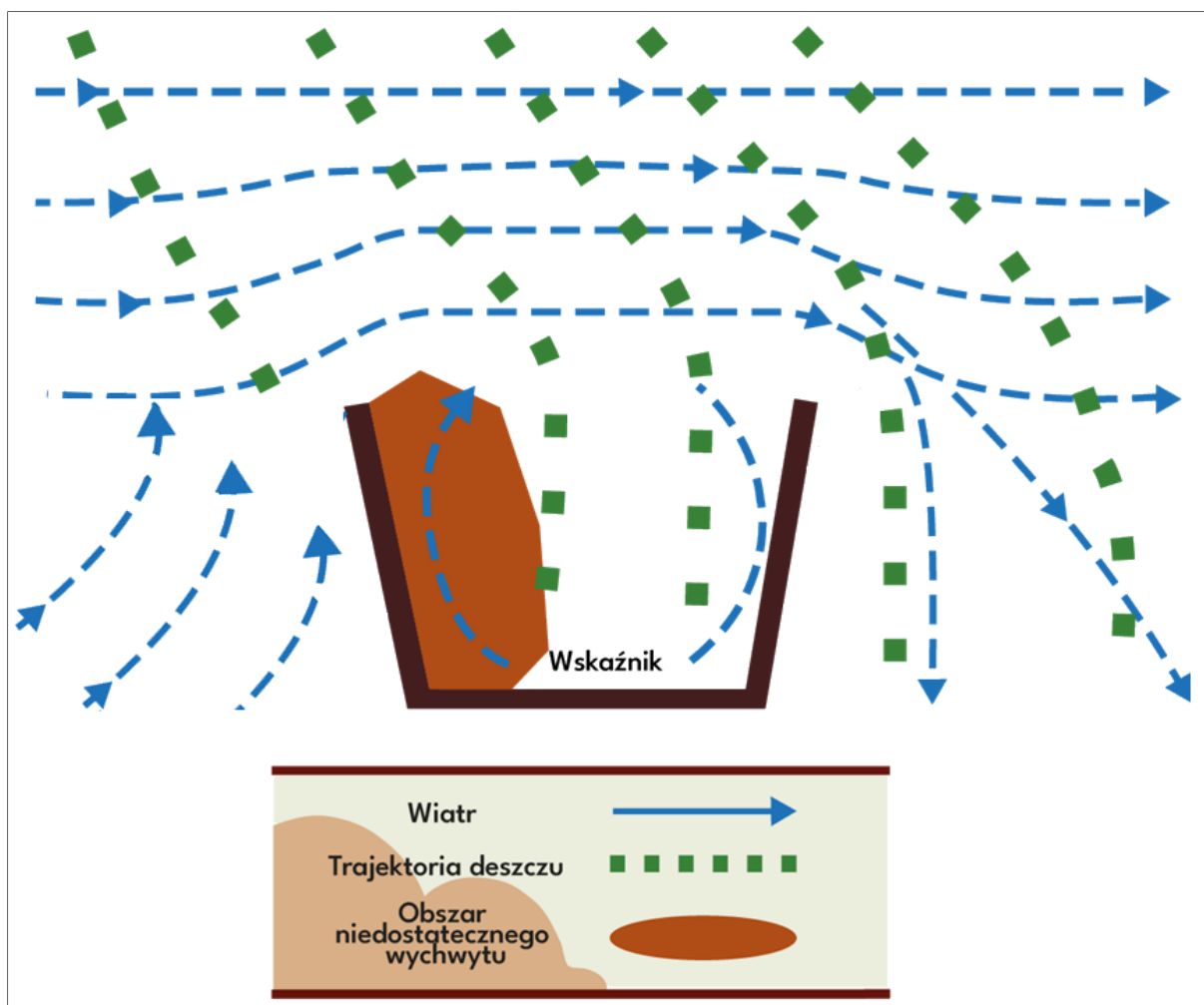
- Cień opadowy powodowany przez otaczające przeszkody terenowe, takie jak: drzewa, ściany i okapy dachów, powodujący zaniżanie pomiaru.
- Turbulentny przepływ wiatru powodujący, że deszcz i śnieg padają w sposób chaotyczny, co powoduje niedostateczny wychwyty opadu.
- Rozpryskiwanie lub spływanie opadów atmosferycznych z obszarów spoza punktu obserwacyjnego, powodujące zawyżony wychwyty opadu.
- Prawidłowa konfiguracja deszczomierza do pomiarów opadów zimowych.
- Utrzymywanie deszczomierza w poziomie (prostopadle do siły grawitacji) aby zapewnić jego optymalne działanie. Dokładność technologii korytka wahadłowego (korytkowego), najbardziej powszechnego w deszczomierzach, pogarsza się gwałtownie, gdy jest ono odchylone od poziomu).

Oprócz tych wyzwań, problematyczne jest określenie czy pomiary są poprawne. W przeciwieństwie do ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności powietrza, skumulowany opad może być wysoce zróżnicowany w bardzo krótkim czasie i na niewielkiej odległości.



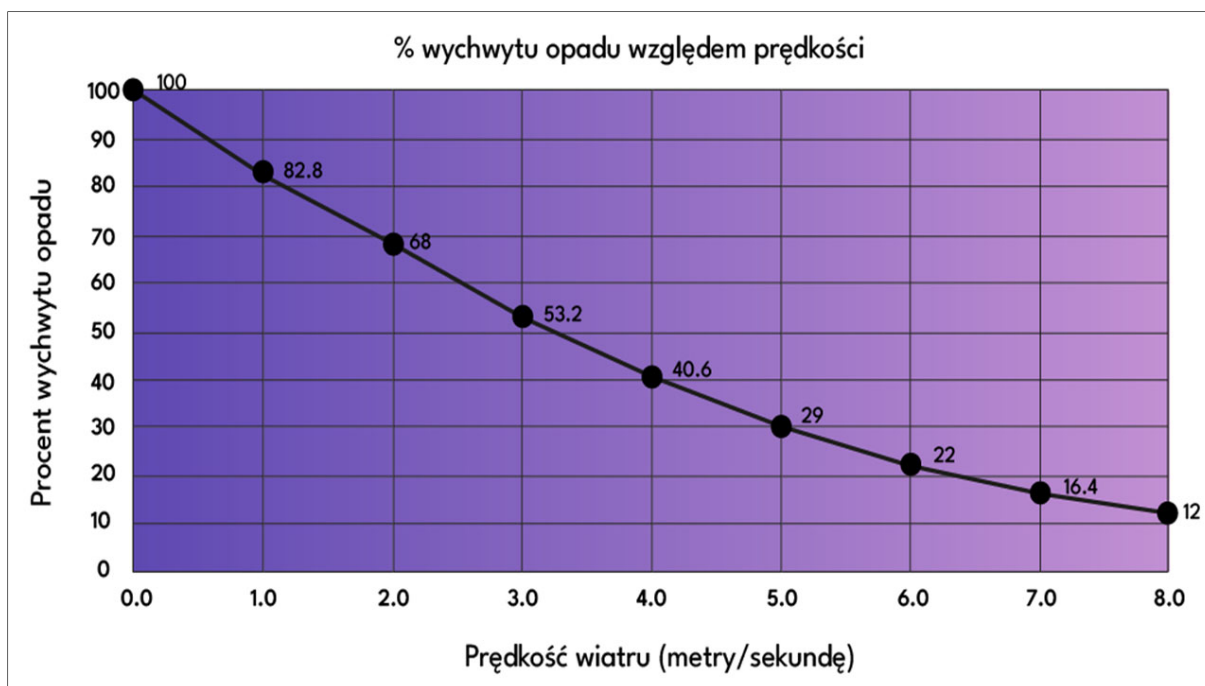
Rys. 38. Usytuowanie deszczomierza. Wytyczne zaproponowane przez Autora. Opracowanie własne wykonane na podstawie 15 lat badań wykonanych podczas obserwacji i pomiarów amatorskimi stacjami meteorologicznymi.

**Usytuowanie.** Najlepsza lokalizacja dla deszczomierza jest taka, w której jest on chroniony we wszystkich kierunkach, np. duża przestrzeń w zagajniku drzew (Rys. 38). Niewidocznym problemem związanym z pomiarem opadu atmosferycznego jest ekspozycja deszczomierza na wiatr o prędkości większej niż 2 m/s (7,2 km/h) na wysokości otworu pomiarowego (82). Wraz ze wzrostem prędkości wiatru, deszcz jest przenoszony w górę i ponad krawędź czołową deszczomierza, co powoduje całkowity brak pomiaru opadu atmosferycznego lub niedostateczny wychwyty opadu (Rys. 39). Szacuje się, że globalnie średni niedostateczny wychwyty opadu wynosi około 11% (82).



Rys. 39. Wpływ przepływu wiatru nad i przez deszczomierzem, skutkujący przepływem turbulentnym i zmniejszeniem wydajności wychwytu deszczu. Wychwyt maleje gwałtownie wraz ze wzrostem prędkości wiatru powyżej 2 m/s. Opracowanie własne na podstawie literatury (82) (76).

Profesjonalne deszczomierze radzą sobie z tym problemem poprzez zastosowanie pierścienia aluminiowych lub drewnianych żeberek zawieszonych po okręgu na wysokości deszczomierza (76). Żebra pomagają spowolnić i złagodzić turbulentny przepływ wiatru, umożliwiając wpadanie deszczu bardziej pionowo do otworu pomiarowego. Niedostateczny wychwyt opadu atmosferycznego jest funkcją prędkości wiatru, przy czym ubytki opadu gwałtownie rosną wraz ze wzrostem prędkości wiatru. Rysunki (Rys. 40 i 41) przedstawiają zależność pomiędzy prędkością wiatru, opadem atmosferycznym a wysokością nad poziomem morza i zlewnią opadu.

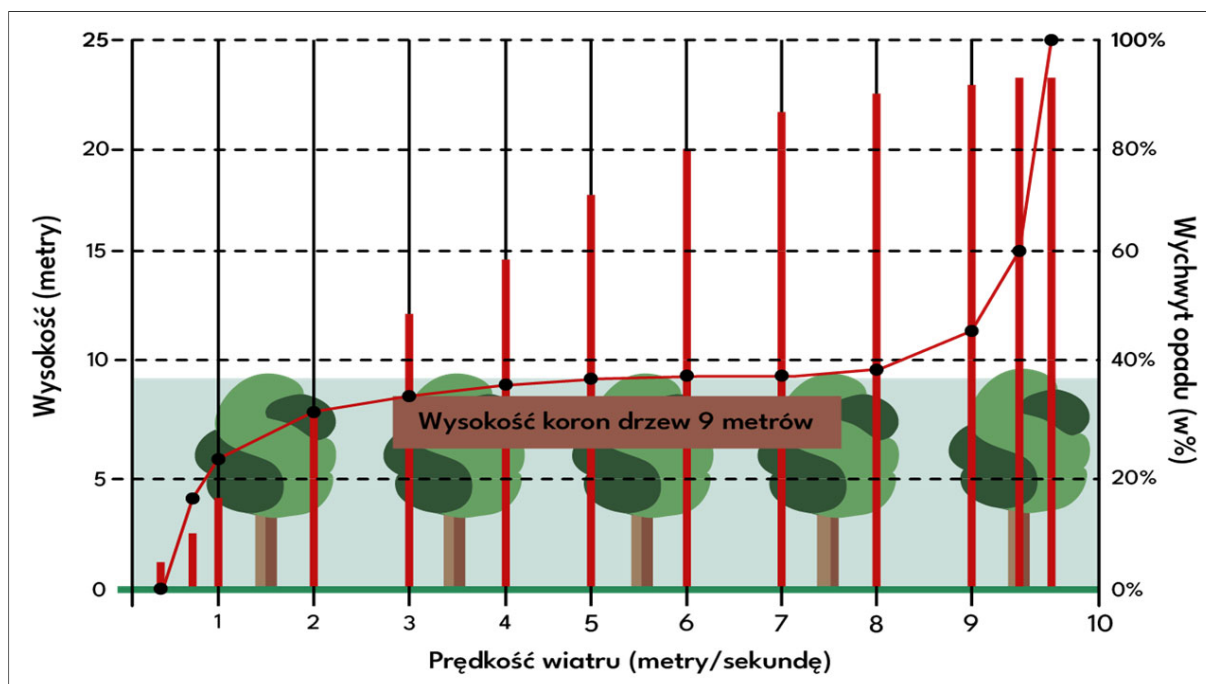


Rys. 40. Wpływ prędkości wiatru i wynikających z niego turbulencji na wydajność wychwytu deszczomierza. Opracowanie własne na podstawie literatury (83).

Najlepszym sposobem na uniknięcie, spowodowanego wiatrem, niedostatecznego wychwytu opadu atmosferycznego jest zamontowanie deszczomierza na wysokości 1 m nad poziomem gruntu (jeżeli wysokość poligonu, na którym znajduje się amatorska stacja meteorologiczna jest mniejsza od 500 m n.p.m.) i 1,5 m powyżej tej wysokości. Jeśli jest to możliwe, należy unikać umieszczania deszczomierza w miejscach odsłoniętych, takich jak dachy, ponieważ miejsca te z pewnością spowodują poważne problemy z niedostatecznym wychwytem opadu atmosferycznego podczas silnych wiatrów.

Podczas gdy prędkość wiatru jest problemem przy pomiarze opadu atmosferycznego, należy określić usytuowanie deszczomierza tak, aby ograniczyć efekt „cienia opadowego” lub blokowania opadów przez pobliskie obiekty. Cień opadowy występuje, gdy deszcz, który mógłby wpaść do deszczomierza, jest przechwytywany lub odbijany przez ściany, drzewa, ogrodzenia i inne przeszkody. Deszczomierz nie powinien być umieszczany bliżej niż połowa wysokości obiektów, np. ściana o wysokości 3 m nie powinna znajdować się bliżej niż 1,5 m od wierzchołka deszczomierza do podstawy ściany. Gdy w obszarze usytuowania deszczomierza znajduje się kilka dużych przeszkód, efekt cienia opadowego można zmniejszyć przez podniesienie wysokości deszczomierza do poziomu, w którym osiągnięty zostanie stosunek odległości 1:2. Należy pamiętać, że minimalizując cień opadowy poprzez

podwyższenie wysokości deszczomierza, stwarza się ryzyko niedostatecznego wychwytu opadu atmosferycznego podczas silnych wiatrów.



Rys. 41. Zależność pomiędzy wysokością a niedostatecznym wychwytem opadu atmosferycznego i prędkością wiatru. Opracowanie własne na podstawie literatury (83).

Deszczomierz należy umiejscowić blisko ziemi. Tym niemniej, umieszczenie deszczomierza poniżej 0,6 m nad ziemią może spowodować problem nadmiernego zlewu spowodowanego rozpryskiwaniem wody z powierzchni poniżej i w pobliżu deszczomierza. Należy zwrócić uwagę również na roślinność pod deszczomierzem. Pozwalając roślinności rosnąć w pobliżu deszczomierza sprzyja się rozpryskiwaniu i inwazji owadów.

### Standardy, jednostki i jakość pomiarów.

Przy zakupie niskobudżetowej stacji meteorologicznej lub przy ocenie jakości istniejącej stacji meteorologicznej należy skorzystać z następujących wytycznych (Tab. 26).

Tab. 26. Standardy wydajności deszczomierza. Opracowanie własne.

Pomiar	Jednostki	Dokładność	Zakres	Zapis pomiaru
Skumulowany opad	mm	$\pm 0,5$ mm lub 4% ilości godzinowej (w zależności od tego, która wielkość jest większa)	Zdolność do pomiaru do 250 mm na godzinę	Dziesiąta część mm XX.X mm np. 10.1 mm

## **Technologia pomiaru opadów atmosferycznych.**

Zautomatyzowane urządzenia do pomiaru opadu atmosferycznego zazwyczaj wykorzystują technologię koryta wywrotnego (wyjątkiem są deszczomierze wykorzystujące licznik zwarć elektrod pod wpływem opadu atmosferycznego oraz deszczomierze wagowe). Deszczomierze korytkowe są obecnie najczęstszym rodzajem urządzeń do pomiaru opadu atmosferycznego stosowanym przez niskobudżetowe stacje meteorologiczne.

Jakie są więc zasady ustawiania korytek wywrotnych? Większość deszczomierzy to deszczomierze korytkowe, które posiadają wahadło z małymi korytkami na każdym końcu, które naprzemiennie napełniają się deszczem do pewnej wagi, po czym wahadło przechyla się i pełne korytko zostaje opróżnione, a puste korytko zostaje ustawione tak, aby mogło zostać napełnione. Urządzenie elektryczne liczy ilość przechyleń i ta liczba jest wysyłana do stacji meteorologicznej, gdzie następuje przeliczenie na wielkość opadów deszczu. Generalnie jedno przechylenie to 0,25 mm deszczu.

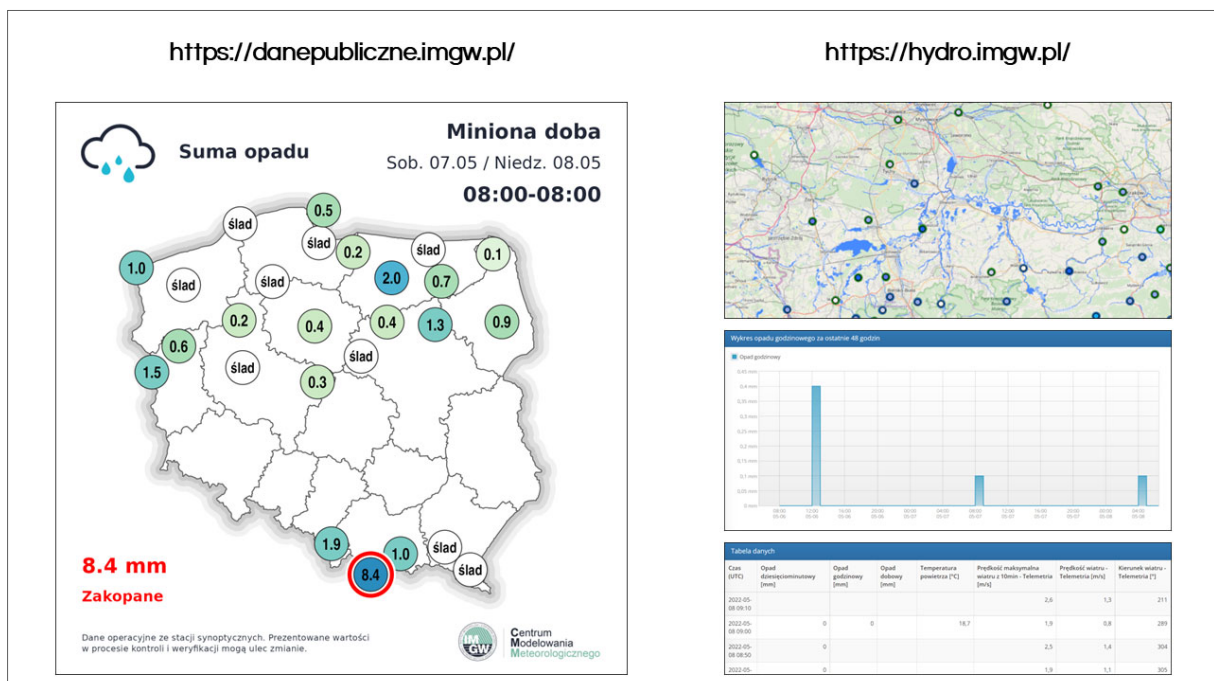
- Wahadło korytkowe wymaga swobodnego i wolnego od przeszkód miejsca montażu, aby można było uzyskiwać dokładne odczyty opadu atmosferycznego. Musi być zamontowane w poziomej powierzchni wolnej od drgań. Po zamontowaniu wahadła korytkowego należy zdjąć pokrywę obudowy i sprawdzić, czy wahadło nie jest przetrzymywane w położeniu środkowym. Wiele urządzeń jest dostarczanych z opaską kablową lub podobnym elementem służącym do utrzymywania kubelków w stabilnej pozycji podczas transportu. Jeśli urządzenie jest tak wyposażone, należy ostrożnie usunąć opaskę zabezpieczającą.
- Aby upewnić się, że powierzchnia jest równa, należy użyć poziomicy.
- Należy upewnić się, że woda spływa z kratek ściekowych w sposób niezakłócony.
- Należy wybrać miejsce, które jest łatwo dostępne na potrzeby normalnego czyszczenia i które jest oddalone od drzew lub innych źródeł silnego pylenia lub zanieczyszczenia.
- Podczas instalacji deszczomierza należy postępować zgodnie z instrukcjami producenta.

## **Testowanie i kontrola jakości.**

- Bezpośrednia kontrola dokładności. W celu określenia dokładności automatycznego deszczomierza należy skorzystać z procedur testowych dostawcy sprzętu. Procedury te generalnie wymagają użycia strzykawki lekarskiej do powolnego zakraplania określonej ilości wody przez otwór deszczomierza w celu uzyskania określonego pomiaru, zgodnie ze

specyfikacją fabryczną. Inną techniką jest użycie plastikowego kubka z bardzo małymi otworami o średnicy szpilki, które umożliwiają wpływanie odmierzonej ilości wody do przyrządu z szybkością podobną do szybkości opadów.

- Kontrola koleżeńska. Jest to sprawdzenie dokładności opadu deszczu przy użyciu sąsiedniego, zamontowanego na tej samej wysokości i w tym samym miejscu, ręcznego deszczomierza w celu porównania opadu. Minimalna średnica ręcznego deszczomierza powinna wynosić 10 cm.
- Monitorowanie opadów dobowych. Dienne sumy opadu atmosferycznego ze stacji synoptycznych IMGW-PIB (od godziny 6:00 UTC dnia poprzedniego do godziny 6:00 UTC dnia obecnego) dostępne są na stronie <https://danepubliczne.imgw.pl/datastore> w folderze Centrum Modelowania Meteorologicznego „CMM synop” pod nazwami plików „OPAD\_SUMA\_DOBOWA\_20220506.png” (Rys. 42), gdzie po ostatnim znaku podkreślenia ( ) występuje aktualna data doby opadowej. Te same mapy publikowane są na koncie Centrum Modelowania Meteorologicznego na Twitterze [https://twitter.com/IMGW\\_CMM/](https://twitter.com/IMGW_CMM/), dziennie o godzinie 6:41 UTC. Dobowe, godzinowe oraz dziesięciominutowe sumy opadów (Rys. 42) ze stacji synoptycznych oraz z pozostałych stacji telemetrycznych dostępne są na stronie <https://hydro.imgw.pl/>.



Rys. 42. Dane operacyjne (opad atmosferyczny) ze stacji synoptycznych oraz ze stacji telemetrycznych. Opracowanie własne na podstawie grafik z Internetu (84) (85).



Większość użytkowników amatorskich stacji meteorologicznych ma do czynienia, kilka razy w roku, z opadem atmosferycznym podczas warunków poniżej 0°C. Użytkownicy, którzy posiadają podgrzewane deszczomierze, powinni pamiętać o podłączeniu elementu grzewczego podczas tej części pory roku, kiedy można spodziewać się takich warunków. Po zakończeniu sezonu zimowego należy pamiętać o odłączeniu grzałki, ponieważ nadmierne ciepło może spowodować uszkodzenie elektroniki deszczomierza podczas upalnego lata.

Użytkownicy deszczomierzy bez grzałek mogą w celu delikatnego ogrzania deszczomierza podczas mrozów zastosować osłonę rurową. W przypadku ogrzewanych deszczomierzy należy pamiętać, że zmniejszają one ilość zebranego opadu atmosferycznego w wyniku termicznych prądów powietrza nad deszczomierzem oraz parowania (76). Z tego względu należy odłączyć podgrzewacz, chyba że spodziewamy się opadów stałych lub marznięcych (śnieg, śnieg z deszczem, lód lub marznący deszcz).

#### **10.1.3.3. Wiatr.**

*Chmury wiszą nad miastem*

*Ciemno i wstać nie mogę*

*Naciągam głębiej koldrę*

*Znikam kulę się w sobie*

*Powietrze lepkie i gęste*

*Wilgoć osiada na twarzach*

*Ptak smętnie siedzi na drzewie*

*Leniwie pióra wygładza*

*Poranek przechodzi w południe*

*Bezładnie mijają godziny*

*Czasem zabrzęczy mucha*

*W sidłach pajęczyny*

*A słońce wysoko, wysoko*

*Świeci pilotom w oczy*

*Rozgrzewa niestrudzenie*

*Zimne niebieskie przestrzenie*

*Czekam na wiatr co rozgoni*

*Ciemne skłębione zasłony*

*Stanę wtedy na raz*

*Ze słońcem twarzą w twarz*

*Krakowski spleen, Maanam. <https://tiny.pl/tzh5r>*

Interpretacja meteorologicznego znaczenia informacji o wietrze jest trudna i zwykle rozpatrywana wraz z innymi parametrami, takimi jak temperatura powietrza, wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne. Podobnie jak opady atmosferyczne, prędkość i kierunek wiatru mogą być bardzo zróżnicowane w czasie i przestrzeni.

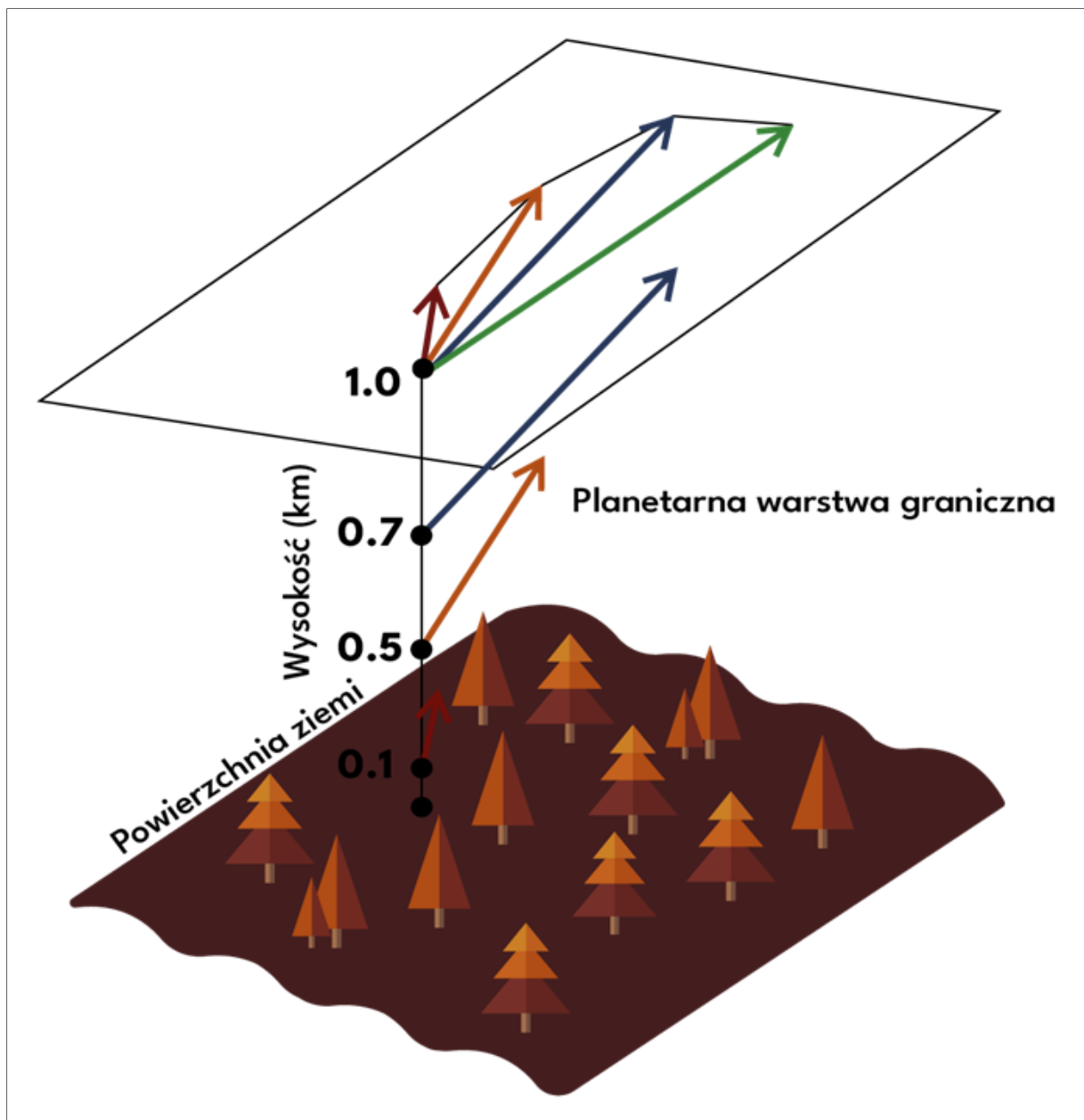
Prędkość i kierunek wiatru mierzone przy powierzchni Ziemi, są głównym wskaźnikiem stabilności atmosfery. Silne wiatry wskazują na dobrze wymieszaną atmosferę i niestabilne warunki, podczas gdy słabe wiatry zazwyczaj wskazują, iż atmosfera jest całkowicie stabilna lub ma stabilność neutralną. Informacje o wietrze, w połączeniu z wilgotnością powietrza, temperaturą powietrza i pomiarami wykonywanymi w ciągu minut lub godzin, wskazują, jak stabilność atmosfery zmienia się w czasie.

Przykłady zastosowań pomiarów wiatru:

- Jakość powietrza. Stopień wymuszenia atmosfery wykorzystywany jest do szacowania ilości zanieczyszczeń niskopoziomowych, które będą uwalniane z obszarów miejskich.
- Kontrola przeciwpożarowa. Prędkość i kierunek wiatru są wykorzystywane do szacowania zachowania się ognia oraz prawdopodobnego przemieszczania się dymu z wiatrem.
- Nawadnianie, parowanie roślin. W połączeniu z opadem atmosferycznym i wilgotnością powietrza, prędkość i kierunek wiatru mogą być wykorzystywane do szacowania poziomu osuszania i nawadniania upraw koniecznego do utrzymania optymalnej dla wzrostu upraw temperatury i wilgotności gleby.
- Wysokość fal. Wykorzystując informację o prędkości wiatru, meteorolodzy szacują wzrost wysokości fali.
- Bezpieczeństwo lotnicze. Lotnictwo posiada przepisy dotyczące siły wiatru bocznego lub tylnego dopuszczalnego podczas lądowań i startów. Wiatry na lotnisku mają kluczowe znaczenie dla utrzymania bezpieczeństwa na pasach startowych.
- Produkcja energii. Farmy wiatrowe na całym świecie są budowane w oparciu o dane klimatyczne dotyczące wiatru.

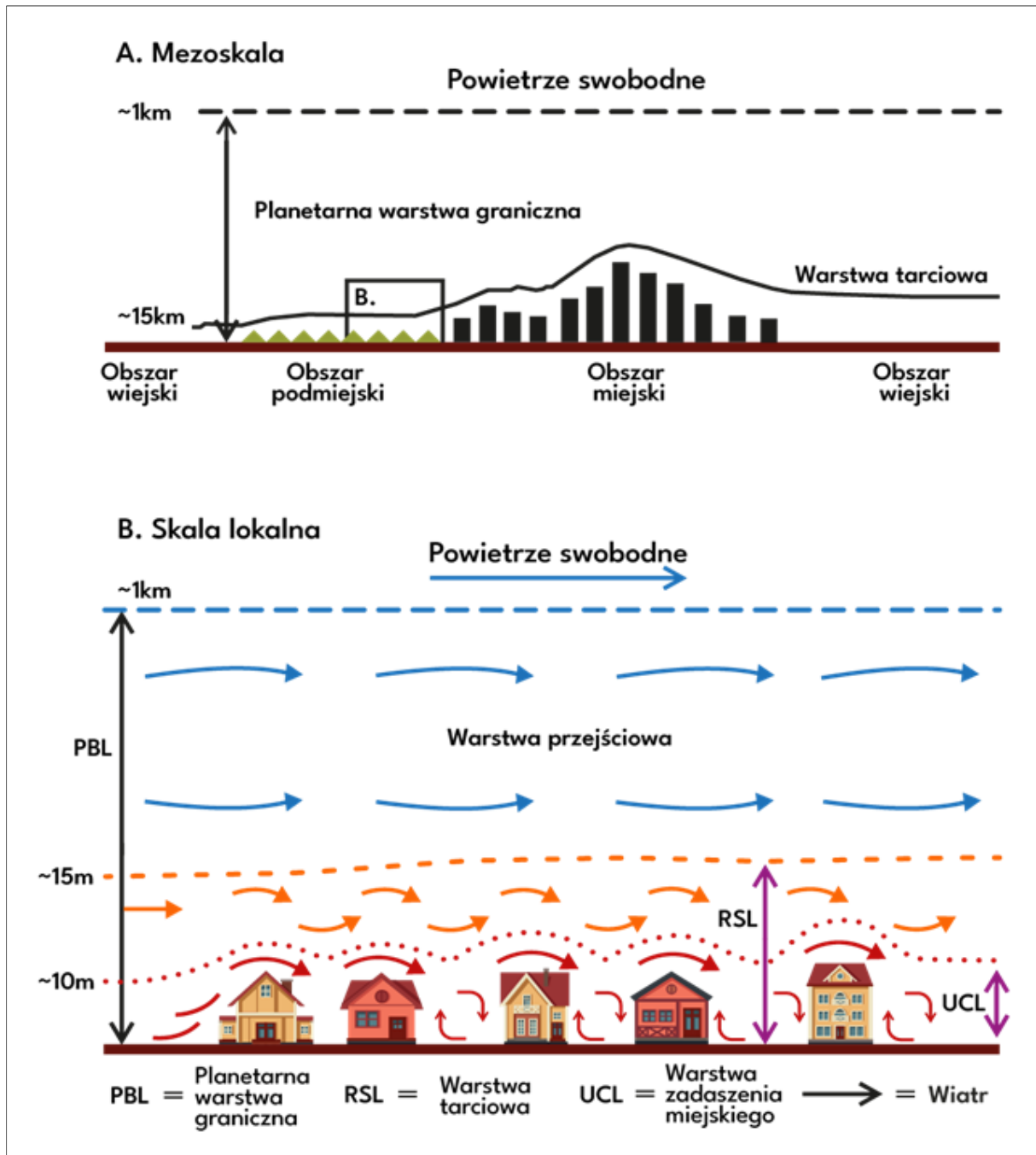
**Cel.** Meteorolodzy często chcą wiedzieć, jaki jest charakter „wiatrów swobodnych” (wiatrów, na które nie ma wpływu opór tarcia Ziemi), znanych również jako wiatry

geostroficzne, w celu monitorowania zmian w atmosferze. Aby mierzyć wiatry swobodne, zazwyczaj trzeba umieścić czujnik pomiarowy ponad obszarem oddziaływania Ziemi, zwanym planetarną warstwą graniczną (ang. Planetary Boundary Layer, w skrócie PBL) (86) (Rys. 43). Ponieważ warstwa ta zazwyczaj rozciąga się do 1 – 2 km nad powierzchnią Ziemi (grubość warstwy granicznej jest dość zmienna w czasie i przestrzeni, od setek metrów do kilku kilometrów), bezpośredni pomiar wiatru geostroficznego jest wyzwaniem i tradycyjnie wykonuje się go za pomocą balonów meteorologicznych (radiosond), a nie instrumentów naziemnych.



Rys. 43. Dolne warstwy atmosfery – widok boczny przepływu wiatru w planetarnej warstwie granicznej. Opracowanie własne na podstawie literatury (86).

W obrębie planetarnej warstwy granicznej istnieje kilka podwarstw. Najbardziej chaotyczna warstwa bezpośrednio przylegająca do Ziemi, nazywana jest miejską warstwą dachową (Urban Canopy Layer, w skrócie UCL). Jest to część miejskiej warstwy granicznej, rozciągająca się od powierzchni ziemi do przeciętnej wysokości dachów.

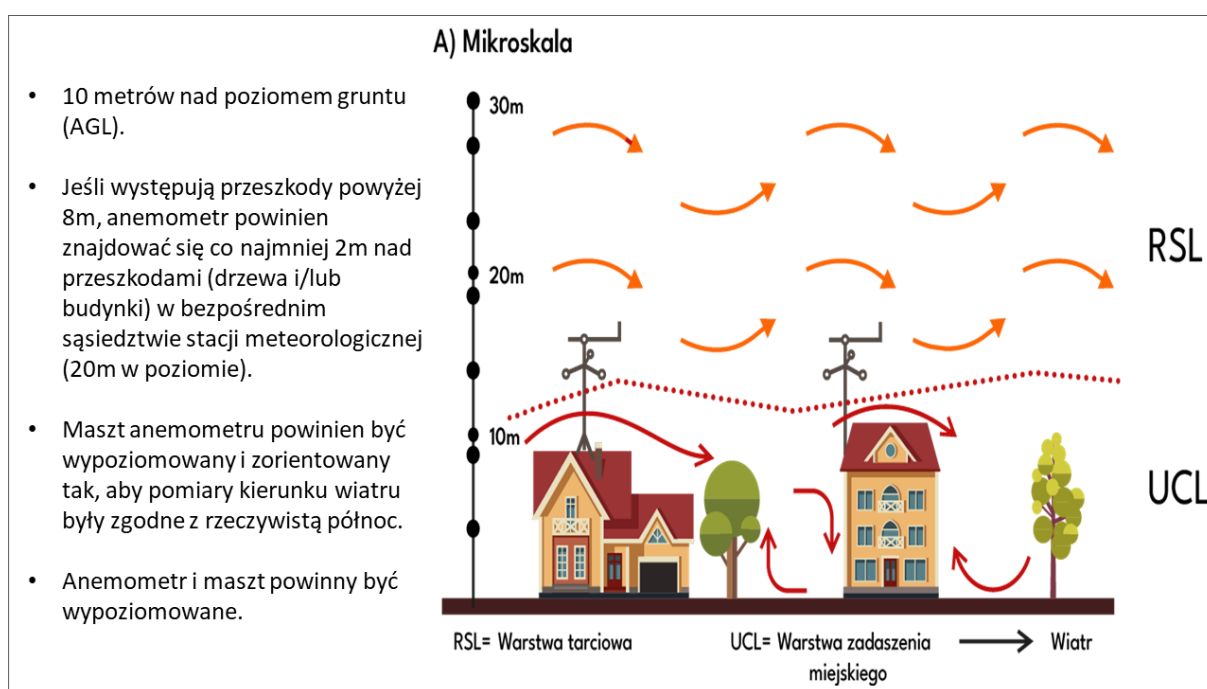


Rys. 44. Warstwy dolnej atmosfery. Opracowanie własne na podstawie literatury (87) (88).

Łącznikiem pomiędzy miejską warstwą dachową a warstwą przejściową jest podwarstwa tarciowa (Roughness Sub-Layer, w skrócie RSL) (Rys. 44A, 44B). Warstwa ta

rociąająca się od powierzchni ziemi w górę, aż do granicy obszaru słabej turbulencji. Szacuje się, że sięga od półtorej do dwukrotnie wyżej niż miejska warstwa dachowa.

Jak pokazano na rysunku (Rys. 44B) uzyskiwanie użytecznych informacji o wiatrach atmosferycznych jest możliwe nawet w podwarstwie tarciowej. Niemniej jednak, w obrębie miejskiej warstwy dachowej pomiary wiatru mówią więcej o geometrii lokalnych przeszkód, takich jak drzewa i budynki, niż o wietrze atmosferycznym powyżej tej warstwy. Kluczowym celem jest więc pomiar wiatru, który jest najbardziej zbliżony do wiatru geostroficznego. Oznacza to, że anemometr powinien znajdować się co najmniej tak wysoko jak lokalne przeszkody tworzące miejską warstwę dachową.



Rys. 45. Standard umieszczenia anemometru. Opracowanie własne na podstawie literatury (87) (88).

**Usytuowanie.** Międzynarodowym standardem wysokości anemometru nad poziomem gruntu jest wysokość 10 metrów. Instytut zachęca obserwatorów stacji meteorologicznych do umieszczania swoich anemometrów na tym poziomie, zgodnie ze względami bezpieczeństwa, jeśli żadne przeszkody nie znajdują się na tej wysokości lub bezpośrednio pod nią.

Podstawowe standardy dla usytuowania anemometru są następujące (Rys. 45):

- 10 metrów nad poziomem gruntu.
- Jeśli występują przeszkody wyższe niż 8 metrów, anemometr powinien znajdować się co najmniej 2 metry nad przeszkodami (drzewa lub budynki) znajdującymi się w bezpośrednim sąsiedztwie stacji meteorologicznej (w horyzontalnej odległości 20 m).

- Maszt anemometru powinien być ustawiony dokładnie pionowo.
- Anemometr powinien być zorientowany tak, aby wskazywał wartości kierunku z „prawdziwej północy”.

Niestety większość właścicieli amatorskich stacji meteorologicznych mieszka na terenach miejskich, gdzie znajdują się budynki z dwoma lub więcej piętrami oraz wysokie drzewa (niejednokrotnie wyższe niż 20 metrów). W takich trudnych warunkach lokalizacyjnych umiejscowienie anemometru wymaga kompromisu.

Jeśli przeszkody znajdują się powyżej poziomu 10 metrów, można rozważać podniesienie wysokości anemometru, aby znalazł się on powyżej miejskiej warstwy dachowej UCL. Jednakże stabilność masztów i trójnogów montowanych na dachach zmniejsza się szybko wraz z ich długością. Dlatego nie zachęca się użytkowników do instalowania masztów powyżej 5 metrów, jeśli są montowane na trójnogach, lub 10 metrów, jeśli są to maszty naziemne połączone z budynkiem lub wsparte za pomocą przewodów odciągowych. W przypadku masztów wyższych niż 10 metrów, należy zwrócić się o profesjonalną pomoc w instalacji (można zwrócić się do instalatora polecanego np. przez miejscowy klub krótkofalarski). Anemometry umieszczone na dachach powinny wystawać co najmniej 3 metry ponad dach, aby unikać wiatru spowodowanego przez sam dach. Należy zwrócić uwagę, aby umieszczanie i instalacja statywu lub masztu nie naruszała integralności dachu.

**Inne uwagi dotyczące instalacji anemometru.** Należy upewnić się, że anemometr i jego maszt są uziemione zgodnie z zaleceniami producenta. W przypadku niewłaściwego uziemienia wyładowanie atmosferyczne będzie przenoszone z anemometrów przewodowych do konsoli stacji meteorologicznej i w końcu do komputera, potencjalnie powodując całkowite zniszczenie wszystkich elementów. Innym zagrożeniem związanym z niewłaściwym uziemieniem jest uderzenie pioruna przechodzące przez budynek, powodując pożar, uszkodzenie sprzętu elektronicznego a nawet porażenie prądem elektrycznym skutkujące obrażeniami ciała. W przypadku wątpliwości podczas instalacji stacji meteorologicznej należy skontaktować się z elektrykiem.

Podczas instalacji masztu anemometru należy zachować ostrożność. Należy poprosić znajomych o pomoc przy instalacji masztu. Dłuższe maszty mogą przyczynić się do utraty równowagi przy instalacji i upadku. Instalacja masztu przez dwie lub więcej osób będzie łatwiejsza i bezpieczniejsza. Nie należy podejmować prac przy maszcie podczas opadu atmosferycznego lub przy silnym wietrze. Należy upewnić się, że

w przypadku przewrócenia się masztu w jakimkolwiek kierunku nie dojdzie do kontaktu z liniami energetycznymi.

Przed instalacją masztu należy wziąć pod uwagę lokalne przepisy, ograniczenia wspólnot mieszkaniowych oraz zgodę sąsiadów, aby mieć pewność, że po instalacji masztu nie trzeba będzie go usuwać. Maszt należy zamontować w sposób solidny, aby nie został uszkodzony przez wiatr i oblodzenie. Maszt powinien być mocno zabezpieczony, aby po zamontowaniu nie obracał się.

Sposób mocowania masztu powinien umożliwić okresowy dostęp do anemometru w celu przeprowadzenia rutynowej konserwacji i wymiany części. Należy rozważyć coroczne czyszczenie łożysk anemometru i ustalić ewentualny harmonogram smarowania anemometru (szczegóły w instrukcji obsługi urządzeń meteorologicznych – nie wszystkie anemometry należy smarować). Maszt należy zawsze montować dokładnie poziomo, używając poziomicy. Niewypoziomowane maszty powodują, że kierunek wiatru nie będzie reprezentatywny dla rzeczywistych warunków. W przypadku anemometru przewodowego, do podtrzymania ciężaru przewodu, należy użyć plastikowych opasek zaciskowych w kilku punktach od szczytu do jego podstawy, aby unikać strzępienia się przewodu i późniejszego przerwania sygnału.

Wymagane jest wykonywanie pomiaru kierunku wiatru w stopniach do rzeczywistej północy. Konieczne jest zlokalizowanie kierunku północy magnetycznej za pomocą kompasu oraz obrócenie i zablokowanie masztu według procedur instalacyjnych. Przed instalacją masztu należy znać deklinację magnetyczną, aby skorygować ją do rzeczywistej północy. Do określenia dokładnej szerokości i długości geograficznej bardzo pomocne może być wykorzystanie systemu GPS. Jednakże GPS jest niedokładny w określaniu kierunku podczas postoju, dlatego nie powinien być używany do określania północy. Znacznie dokładniejszym narzędziem jest kompas magnetyczny. Jeśli podczas montażu masztu nie można skierować anemometru w kierunku rzeczywistej północy, należy wprowadzić korektę kierunku z konsoli stacji meteorologicznej lub oprogramowania rejestrującego dane.

### **Standardy, jednostki pomiarowe oraz jakość pomiarów.**

Należy skorzystać z następujących wytycznych (Tab. 27).

Tab. 27. Standardy dokładności i sprawozdawczości w zakresie pomiarów wiatru. Opracowanie własne.

Pomiar	Jednostki	Dokładność	Zakres	Zapis pomiaru
Kierunek	Stopnie (prawdziwa północ)	+/- 5°	1 do 360°	Interwał co 1°
Prędkość i charakterystyka	m/s	+/- 0,4 m/s dla prędkości do 4 m/s	1 do 65 m/s	Interwał do XX.X m/s np. 10.1 m/s

### Standardy próbkowania:

- Średnia prędkość i kierunek wiatru: 2 minutowa średnia prędkości i kierunku wiatru próbkowania przed rozpoczęciem właściwej obserwacji, z danych o wysokiej rozdzielczości (minimum 5 sekundowe sondowanie przez przyrząd).
- Poryw wiatru. Maksymalna, chwilowa wartość prędkości zaobserwowana w ciągu 10 minut przed rozpoczęciem właściwej obserwacji. Maksymalna chwilowa wartość wiatru zaobserwowana w ciągu 10 minut przed ważnym czasem obserwacji, uzyskana z danych o pełnej rozdzielczości (minimum 5 sekundowe próbkowanie).

### Testowanie i kontrola jakości.

Nawet przy dobrym zaplanowaniu i przestrzeganiu procedur instalacyjnych, trudno jest zainstalować przyrząd do pomiaru kierunku wiatru dokładnie w kierunku rzeczywistej północy. Dlatego konieczne jest sprawdzenie poprawności instalacji poprzez monitorowanie własnych obserwacji kierunku wiatru z danymi dotyczącymi kierunku wiatru na najbliższej stacji meteorologicznej IMGW-PIB. Walidację kierunku wiatru należy przeprowadzić popołudniu, w dniu poprzedzającym lub następującym po przejściu frontu. Kierunek wiatru należy porównać z domu a nie na dachu. Jeśli kierunek wiatru jest stale odchyłony o więcej niż 30° od kierunku wskazywanego przez stację referencyjną, jaką jest stacja IMGW-PIB, należy zastosować korektę kierunku, aby był on zgodny z kierunkiem wiatru na danym obszarze. Można to zrobić za pomocą aplikacji rejestrującej dane stacji pogodowej lub za pomocą konsoli stacji pogodowej.

Należy zdawać sobie sprawę, że przeszkody otaczające anemometr znacznie zmniejszają prędkość wiatru w stosunku do prędkości wiatru na lokalnej stacji meteorologicznej Instytutu. Szybką i prostą procedurą kalibracji, choć nie precyzyjną, jest użycie skali Beauforta. W celu oszacowania prędkości wiatru na wysokości anemometru należy obserwować ruch liści drzew, gałęzi i dymu z kominów. Inną metodą sprawdzania działania anemometru jest użycie osobnego anemometru ręcznego. Wykonanie serii porównań pomiędzy



anemometrem ręcznym z kompasem magnetycznym i anemometrem stacji meteorologicznej pomoże ustalić jakość wskazań anemometru.

Zakresy kontroli poprawności i spójności w odniesieniu do wiatru przedstawiono w tabeli (Tab. 28).

Tab. 28. Zakresy kontroli poprawności i okresowej spójności wiatru. Opracowanie własne.

Kontrole poprawności	
Parametr	Prawidłowy, jeśli pomiędzy:
Kierunek wiatru	1 do 360°
Prędkość wiatru	0 do 180 m/s
Czasowe kontrole spójności	
Parametr	Prawidłowy, jeśli zmiana wartości mniejsza od:
Prędkość wiatru	10 m/s

#### 10.1.3.4. Ciśnienie atmosferyczne.

*A czy przyroda, kolebka*

*Mysłała kiedyś dokładnie*

*Na co jej wielkie mamuty?*

*Ani wygląda to ładnie*

*I ani z nich skóra na buty*

*Nie ma co pytać, koledzy*

*Robiła i tak jej wyszło*

*Nikt nie wymyślał specjalnie*

*Tego z czym żyć nam przyszło*

*Uprzedzam o tym lojalnie*

*Jeden jest rytm*

*Jeden rytm*

*Jeden wydech i wdech*

*Nasyć się równym oddechem*

*Nasyć się dzisiaj za trzech, bo*

*Raz tylko dany Ci czas*

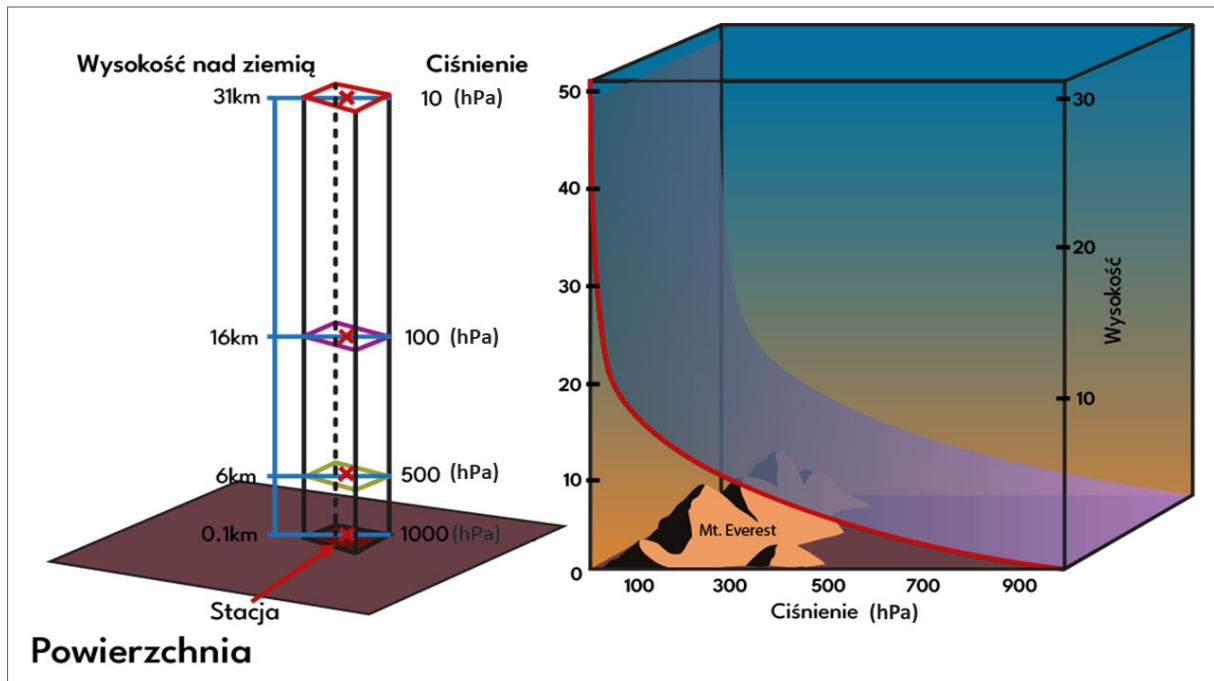
*Ani on Twój ani czyj*

*Z czasem się wszystko ustoi*

Więc żyj na huśtawce, żyj

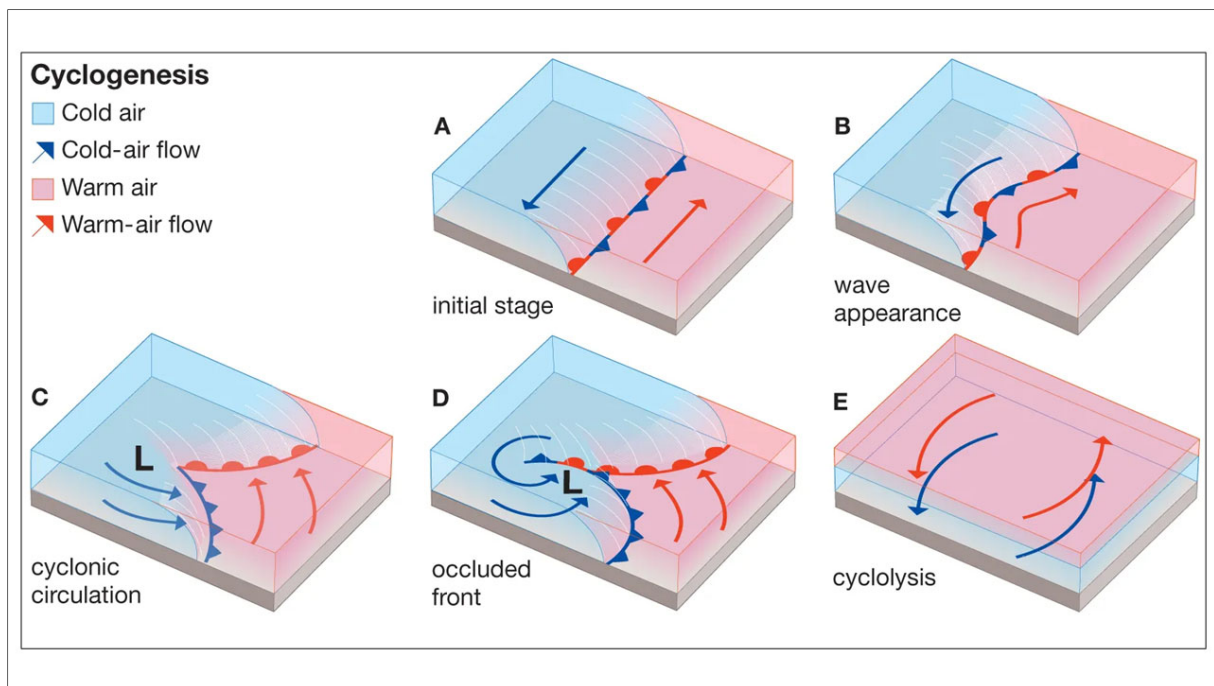
Huśtawki, Kwiat Jabłoni. <https://tiny.pl/9x433>

Ciśnienie atmosferyczne to siła wywierana na dany punkt przez atmosferę ziemską. Przyjmuje się, że większość pomiarów ciśnienia atmosferycznego jest statyczna. Ciśnienie atmosferyczne spada wraz z wysokością, zmieniając się o 1,0 hPa na każde 10 metrów. Na rysunku (Rys. 46) przedstawiono zależność między ciśnieniem atmosferycznym a wysokością.



Rys. 46. Ciśnienie atmosferyczne jako funkcja wysokości nad poziomem gruntu (wartości przybliżone). Opracowanie własne na podstawie źródła internetowego (89).

Naukowcy podejrzewali istnienie ciśnienia atmosferycznego od setek lat na podstawie ograniczenia poziomu, do którego woda mogła przelewać się ze wzgórza (10 metrów). Wiedza ta doprowadziła w końcu do opracowania barometrów wodnych przez Evangelistę Torricelli (90) w 1644 roku. Ostatecznie Norwegowie stworzyli sieci obserwacji powierzchniowych, które posłużyły do opracowania teorii frontu polarnego i teorii ewolucji cyklonu (91) przedstawionego na rysunku (Rys. 47).



Rys. 47. Stadia rozwojowe cyklonu (92).

Obecnie pomiary ciśnienia powierzchniowego są wykorzystywane, w połączeniu z pomiarami wiatru, temperatury i wilgotności powietrza, do lokalizowania i prognozowania układów synoptycznych. Dzięki gęstej sieci skalibrowanych punktów pomiarowych możliwy jest pełny obraz lokalizacji i ruchów układów atmosferycznych.

**Cel.** Kluczowym celem pomiaru ciśnienia atmosferycznego jest ciągły pomiar za pomocą barometru, który został skalibrowany względem referencyjnego źródła pomiaru, np. profesjonalnie prowadzonego przyrządu do pomiaru ciśnienia atmosferycznego. Bez kalibracji, pomiary ciśnienia atmosferycznego z amatorskich stacji meteorologicznych mają niewielką wartość – poza identyfikacją trendów. Większość czujników ciśnienia atmosferycznego amatorskich stacji meteorologicznych może być skalibrowana w stosunkowo łatwy sposób.

**Usytuowanie.** Większość amatorskich stacji meteorologicznych posiada czujnik ciśnienia atmosferycznego umieszczony w konsoli głównej stacji pogodowej. Z tego powodu otoczenie fizyczne konsoli głównej będzie miało wpływ na odczyt. Jeśli to możliwe, należy więc zainstalować urządzenie w pomieszczeniu zamkniętym, w miejscu o najmniejszym wpływie przeciągów, ciepła i słońca (w miejscu, gdzie temperatura jest możliwie stała).

### **Standardy, jednostki pomiarowe oraz jakość pomiarów.**

Należy skorzystać z następujących wytycznych:

**Częstotliwość pomiarów:** 1 – minutowe aktualizacje uzyskiwane na podstawie minimalnej pomierzonej wartości ciśnienia atmosferycznego zaobserwowanej w ciągu ostatniej minuty. Zazwyczaj podstawą dla 1 – minutowych raportów o minimalnym ciśnieniu jest seria dziesięciu 6 – sekundowych pomiarów ciśnienia chwilowego.

**Format redukcji ciśnienia:** Ciśnienie względne (zredukowane do poziomu morza) jest skorygowaną wartością ciśnienia atmosferycznego, która uwzględnia ciśnienie pomiędzy wysokością stacji meteorologicznej a poziomem morza.

Tab. 29. Standardy dokładności i sprawozdawczości w zakresie pomiaru ciśnienia atmosferycznego. Opracowanie własne.

Pomiar	Jednostki	Dokładność	Zakres	Zapis pomiaru
Ciśnienie względne	Hektopaskale (hPa)	+/- 0 hPa	616 hPa do 1066 hPa	Dziesiętne części hektopaskala XXXX.X hPa np. 1020.1 hPa

Zaleca jest następująca procedura kalibracji:

Należy wybrać pobliską (w promieniu 30 km) synoptyczną lub lotniskową stację meteorologiczną w celu zapewnienia ciśnienia referencyjnego (kalibracyjnego). Następnie należy poczekać na optymalne warunki pogodowe, aby przeprowadzić serię porównań. Warunki te to:

- wysokie ciśnienie atmosferyczne (stwierdzono, że przy takim ciśnieniu atmosferycznym kalibracja jest łatwiejsza);
- wiatr słabszy niż 3 m/s, najlepiej okres bezwietrzny;
- temperatura powietrza na zewnątrz względnie stabilna lub wolno zmieniająca się;
- najlepszym czasem na przeprowadzenie porównań ciśnienia atmosferycznego jest wczesne popołudnie, gdy wiatr jest słaby. Istnieje wtedy uzasadniona pewność, że na danym obszarze panuje wysokie ciśnienie.

Należy przeprowadzić serię minimum czterech jednoczesnych pomiarów ciśnienia atmosferycznego, wykorzystując do tego celu wartości ciśnienia zredukowanego do poziomu morza (na amatorskich stacjach meteorologicznych używane jest określenie ciśnienie względne) z depesz stacji synoptycznych lub raportów METAR lotniska oraz własnego barometru.

### Uwagi:

- Stacje synoptyczne przekazują depesze o pełnej godzinie, natomiast stacje lotniskowe co pół godziny (25 minut i 55 minut po pełnej godzinie) (METAR GG00, METAR GG30). Należy wykonać 4 porównania godzinne lub 8 porównań półgodzinnych.
- Po wykonaniu porównań należy zanotować ciśnienie względne (zredukowane do poziomu morza) oraz ciśnienie na stacji synoptycznej lub lotnisku. Następnie zsumować różnice pomiędzy porównaniami i podzielić przez ilość porównań, aby otrzymać średnią różnicę.
- Jeśli średnia różnica między stacją użytkownika a stacją odniesienia jest większa niż +/- 1,0 hPa należy odpowiednio dodać lub odjąć tę różnicę. Następnie należy pozwolić ciśnieniu ustabilizować się przez co najmniej 15 minut i spróbować kolejnej serii porównań, aby sprawdzić, czy osiągnięte wyniki są w granicach +/- 1,0 hPa. Procedurę należy powtarzać aż do osiągnięcia celu, jakim jest różnica ciśnień mniejsza niż +/- 1,0 hPa.
- Zakończyć serię porównań, gdy średnia różnica jest mniejsza lub równa +/- 1,0 hPa.
- Barometry czasem „dryfują” i wymagają ponownej kalibracji. Z tego względu należy przeprowadzać ponowne porównania barometrów co najmniej raz w roku.

Raporty METAR można uzyskać ze strony serwisu pogodowego, jak strona Awiacja IMGW-PIB <https://awiacja.imgw.pl/> (Rys. 48) lub dzwoniąc na najbliższą stację synoptyczną.

1

METAR EPBY 072100Z 03007KT 360V070 CAVOK 17/09 Q1024=  
METAR EPGD 072100Z VRB02KT CAVOK 14/11 Q1025 =  
METAR EPKK 072100Z 05005KT 9999 SCT062 15/09 Q1023 =  
METAR EPKT 072100Z 05005KT CAVOK 14/08 Q1023 =  
METAR EPLB 072100Z 02006KT CAVOK 14/10 Q1023 =  
METAR EPLL 072100Z VRB01KT CAVOK 12/10 Q1024 =  
METAR EPML 072100Z NIL=  
METAR EPMO 072100Z VRB02KT CAVOK 14/10 Q1024 =  
METAR EPPO 072100Z 08005KT CAVOK 15/07 Q1024 =  
METAR EPRA 072100Z NIL=

2

METAR EPKT

Lokalizacja:	EPKT Katowice Pyrzowice
Czas:	21:00 UTC
Średni kierunek wiatru:	50°
Średnia prędkość wiatru:	5 węzłów
CAVOK:	Widzialność 10 km i więcej
Temperatura powietrza:	14 °C
Temperatura punktu rosy:	8 °C
Ciśnienie QNH:	1023 hPa

Rys. 48. Rozkodowana depesza METAR z lotniska Katowice Pyrzowice EPKT. Opracowanie własne na podstawie grafik z Internetu (93).

Zakresy kontroli poprawności i spójności czasowej w odniesieniu do pomiarów ciśnienia atmosferycznego przedstawiono w tabeli (Tab. 30).

Tab. 30. Zakresy kontroli poprawności i czasowej spójności dla pomiarów ciśnienia atmosferycznego. Opracowanie własne.

Kontrole poprawności	
Parametr	Zakres, do którego parametr jest prawidłowy:
Ciśnienie na poziomie morza	846 hPa do 1100 hPa
Ciśnienie na stacji bazowej	568 hPa do 1100 hPa
Ustawienie wysokościomierza	568 hPa do 1100 hPa
Czasowe kontrole spójności	
Parametr	Prawidłowy, jeśli zmiana jest mniejsza niż:
Ciśnienie na poziomie morza	15 hPa/h

#### 10.1.4. Zakup stacji meteorologicznej i uwagi dotyczące montażu.

##### 10.1.4.1. Uwagi przed zakupem.

Sprzedawcy stacji pogodowych oferują wiele różnych opcji cenowych i eksploatacyjnych. Przed zakupem stacji pogodowej należy wziąć pod uwagę poniższe kwestie.

##### **Stacje przewodowe.**

Systemy przewodowe pracują niezawodnie i generalnie są tańsze niż zasilane energią słoneczną systemy bezprzewodowe. Minusem jest sposób doprowadzenia przewodów z czujników na zewnątrz domu do konsoli wewnątrz domu. Zazwyczaj wiąże się to z koniecznością wywiercenia otworu w ścianie. W przypadku, gdy użytkownik zdecyduje się to wykonać, należy uważać, aby nie przewiercić się przez przewody elektryczne w ścianie.

Do zabezpieczenia przewodów należy zastosować plastikowe opaski kablowe, aby ograniczyć długotrwałe naprężenia spowodowane wiatrem, powodujące strzępienie przewodów w punktach styczności oraz naciąganie przewodów w miejscach połączeń, spowodowane ich własnym ciężarem.

Przewody należy zakopać w rowie o głębokości 10 cm lub więcej od czujnika do punktu dostępu do domu, aby nie stanowiły zagrożenia potknięciem lub nie zostały przycięte przez kosiarkę.

Innym problemem w przypadku stacji przewodowych, zwłaszcza z czujnikami zamontowanymi na dachach, jest możliwość uderzenia pioruna. Uderzenia pioruna mogą

przenosić się przez czujnik przewodowy z dachu, w dół do konsoli i komputera, niszcząc po drodze wszystkie elementy. Rozważając zakup systemu przewodowego, należy zapytać sprzedawcę stacji pogodowej o bezpieczniki liniowe w kablu i procedury uziemienia, które zminimalizują możliwość poważnego uszkodzenia stacji.

Sygnal z czujnika może słabnąć wraz z wydłużeniem długości kabla pomiędzy konsolą a czujnikiem. Należy sprawdzić w instrukcji producenta stacji pogodowej, jaki wpływ na działanie czujnika ma długość kabla.

### **Stacje bezprzewodowe.**

Istnieją cztery kluczowe kwestie, które należy rozważyć przed zakupem bezprzewodowej stacji meteorologicznej:

- Lokalizacja konsoli stacji meteorologicznej w domu użytkownika.
- Znane źródła interferencji radiowych.
- Optymalne rozmieszczenie czujników.
- Niezawodny zasięg transmisji pomiędzy czujnikami a konsolą, zgodnie z danymi producenta stacji meteorologicznej.

W celu zapewnienia skutecznej komunikacji między samymi czujnikami oraz między czujnikami i konsolą, należy dokładnie oszacować te odległości (mogą być różne dla czujników temperatury/wilgotności powietrza, opadu atmosferycznego i anemometru) i porównać ze specyfikacją stacji meteorologicznej. Należy również wciąć pod uwagę negatywny wpływ na zasięg przekazu wynikający z przeszkód takich jak ściany i elementy elektroniczne. Jeśli odległość między konsolą a optymalną lokalizacją czujników jest większa niż zasięg komunikacji bezprzewodowej, wówczas stacja bezprzewodowa nie jest dobrym wyborem. Należy również zwrócić uwagę na ceny. Stacje bezprzewodowe kosztują więcej niż systemy przewodowe, czasami od 10 do 25%.

Należy sprawdzić częstotliwość używaną przez amatorską stację meteorologiczną, gdyż może wystąpić wiele potencjalnych konfliktów z telefonami bezprzewodowymi oraz urządzeniami sieciowymi.

Jeśli możliwe jest osiągnięcie celów lokalizacyjnych nadal może pozostać problem znacznego zacienienia przez drzewa i budynki w godzinach porannych i późnym popołudniem. W takiej sytuacji należy ocenić skuteczność paneli słonecznych w pozyskiwaniu energii wystarczającej do zasilania czujników w okresach niskiego kąta padania promieni słonecznych

i zachmurzenia. Przed zakupem bezprzewodowego systemu zasilanego energią słoneczną zaleca się przedyskutowanie przydatności czujników zasilanych energią słoneczną z przedstawicielem technicznym dostawcy stacji meteorologicznej.

Do zasilania urządzeń podczas nocy lub większego zachmurzenia, gdy baterie są wyczerpane lub gdy kondensator magazynujący energię dostarczoną przez panel słoneczny jest rozładowany, systemy zasilane energią słoneczną zazwyczaj wykorzystują baterie. Zaleca się stosowanie baterii litowych o dłuższej żywotności i umożliwieniu działania w temperaturach poniżej  $-20^{\circ}\text{C}$  (94).

Zaletą czujników zasilanych energią słoneczną jest to, że mogą one pracować przez długie okresy bez zasilania sieciowego, co jest świetnym rozwiązaniem w przypadku wystąpienia awarii sieci energetycznej wywołanych złymi warunkami atmosferycznymi. Niemniej jednak, podczas przerw w dostawie energii elektrycznej, stacja nie będzie w stanie przekazywać danych do sieci utworzonej przez Instytut, chyba że konsola stacji meteorologicznej, komputer i router będą zasilane awaryjnie (UPS). Wadą czujników słonecznych jest to, że ich panele ulegają zużyciu i co pewien okres muszą być wymienione.

### **Ograniczenia częstotliwości wykonywania pomiaru.**

Niezależnie od rozważań nad tematem połączenia przewodowego/bezprzewodowego, należy również ocenić dokładność, precyzję, częstotliwość aktualizacji i zakres raportowania pomiarów przez stację meteorologiczną. Niniejszy poradnik przedstawia pożądaną dokładność i precyzję dla raportowania do sieci amatorskich stacji meteorologicznych nadzorowanych przez Instytut, opisując każdy zestaw danych pomiarowych. Częstotliwość aktualizacji pomiarów jest bardzo różna, od raz na sekundę do co pięć minut lub rzadziej. Ma to wpływ nie tylko na przydatność danych dla IMGW-PIB, ale również na zadowolenie z korzystania ze swojej amatorskiej stacji meteorologicznej. Obserwowanie danych prędkości wiatru czy porywach wiatru, które będą aktualizowane zaledwie co pięć minut podczas wietrznej pogody może okazać się niesatysfakcjonujące. Zakres raportowania jest również bardzo ważny. Niektóre stacje meteorologiczne mogą nie pokazywać danych o wilgotności poniżej 20% lub powyżej 90%. W przypadku lokalizacji w wyjątkowo suchym lub wilgotnym dniu/miesiącu/roku, czy wieloleciu, pomiary mogą okazać się błędne i o symbolicznej użyteczności. Uogólniając, im droższa stacja meteorologiczna, tym lepszej dokładności, precyzji, zakresu raportowania i częstotliwości aktualizacji można oczekiwać. Pomimo iż cena



stacji meteorologicznej będzie jednym z ważniejszych czynników przy podejmowaniu decyzji zakupu rodzaju stacji, należy dokładnie porównać specyfikacje stacji meteorologicznych.

#### **10.1.4.2. Rozmieszczenie czujników.**

Trudne jest idealne rozmieszczenie czujników. W większości przypadków nie jest to konieczne, aby uzyskiwać przydatne i reprezentatywne dane pomiarowe.

Kluczowe informacje, które należy zapamiętać:

- Anemometr powinien być umieszczony tak wysoko (optymalnie 10 m), a deszczomierz tak nisko (optymalnie 1 m) i bez przeszkód, jak to możliwe. Oznacza to, że należy unikać instalacji anemometru i deszczomierza na tym samym słupku.
- Czujniki temperatury powietrza i punktu rosy (wilgotności względnej) powinny być z reguły umieszczone 2 metry nad ziemią w pobliżu deszczomierza, w miejscu z dala od sztucznych źródeł ciepła/chłodu. Bardzo ważne jest, aby czujnik temperatury powietrza/temperatury punktu rosy był osłonięty, a także wentylowany (naturalnie lub mechanicznie za pomocą wentylatora).

Aby pomóc w wyborze optymalnego rozmieszczenia czujników dla szeregu potencjalnych lokalizacji miejskich, przygotowano tabelę (Tab. 31). Zaproponowana ocena usytuowania stacji jest także pierwszą procedurą oceny jakości amatorskich stacji meteorologicznych włączonych do sieci PSHM.

Podstawą punktacji w tabeli jest wpływ na działanie czujnika będący funkcją wysokości nad ziemią, przeszkód, lokalnych źródeł ogrzewania/chłodzenia, wilgoci, dostępu do powietrza oraz rodzaju powierzchni. Wynik „10” oznacza doskonałą lokalizację, a „1” najgorszą. Należy uzyskać „10” w każdej z trzech kategorii czujników, aby całkowity wynik wyniósł „30”, lub też zbliżyć się do „30” na tyle, na ile to możliwe, biorąc pod uwagę szczególne problemy związane z lokalizacją. W przypadku, gdy użytkownik nie posiada pełnego zestawu czujników temperatury/wilgotności powietrza, deszczomierza i anemometru, optymalny wynik powinien być ustalony dla posiadanych czujników. Chodzi o to, aby przed zakupem i instalacją stacji meteorologicznej zmaksymalizować możliwości lokalizacyjne w miejscu użytkownika. Usytuowanie czujnika ciśnienia atmosferycznego nie jest oceniane, ponieważ zazwyczaj znajduje się on wewnątrz domu, w konsoli głównej stacji meteorologicznej, w środowisku o stabilnej temperaturze i z dala od pomieszczeń o podwyższonym ciśnieniu i przeciągach.

Tab. 31. Określenie optymalnej lokalizacji czujników (zielony - najlepsze miejsce, czerwony - najgorsze miejsce).  
Opracowano na podstawie dostępnych informacji z sieci amatorskich stacji meteorologicznych (38) (39) (42) (95).

Warunki i lokalizacja czujnika	% światła słonecznego	1. Temperatura/wilgotność (punkt rosy)			2. Deszczomierz	3. Anemometr
		a. Bez osłon	b. Osłonięty	c. Osłonięty i wentylowany		
a. Pod dachem, nad trawą	40%	3	4	5	1 - Źle, budynek powoduje cień opadowy	1 - Źle, mierzone są wiry turbulencyjne powodowane przez budynek, a nie rzeczywisty wiatr
b. Pod dużym drzewem, nad trawą (1,5 m nad gruntem)	20%	4 - Najlepiej, cień zmniejszy wpływ słońca	4	5	2	2
c. Obok drzewa, nad trawą	60%	2	6	7	4	3
d. Na otwartej przestrzeni, nad betonem (1,5 m nad gruntem)	100%	1 - Źle, słońce i beton znacznie pogorszą warunki	3 - Źle, beton pogarsza warunki	4 - Źle, beton pogarsza warunki	7	5
e. Na otwartej przestrzeni, nad trawą (1,5 m nad gruntem)	100%	2	8 - Najlepiej, optymalne usytuowanie	10 - Najlepiej, optymalne usytuowanie	10 - Najlepiej, optymalne usytuowanie	5
f. Na otwartej przestrzeni, nad ziemią bez trawy (1,5 m nad gruntem)		1 - Źle, słońce pogarsza wyniki	3	4	5 - Rozbryzgi od ziemi	1 - Źle, wiatry przy powierzchni ziemi mają niewielką przydatność
g. W pobliżu domu, obok klimatyzatora lub pompy ciepła (1,5 m nad gruntem)	50%	2	3 - Źle, prąd oraz ograniczona przez budynek wentylacja pogarszają wyniki	4 - Źle, prąd oraz ograniczona przez budynek wentylacja pogarszają wyniki	6	3
h. Na otwartej przestrzeni, w pobliżu automatycznych zraszaczy (1,5 m nad gruntem)	100%	1 - Źle, słońce pogarsza wyniki	6	7	4	5
i. Na otwartej przestrzeni, obok basenu (1,5 m nad gruntem)	100%	1 - Źle, słońce pogarsza wyniki	5	6	9 - Rozbryzgi	5
j. 2 m nad wierzchołkiem dachu budynku, drzewa powyżej poziomu czujnika	80%	1 - Źle, słońce pogarsza wyniki	4	5	5	7

Warunki i lokalizacja czujnika	% światła słonecznego	1. Temperatura/wilgotność (punkt rosy)			2. Deszczomierz	3. Anemometr
		a. Bez osłon	b. Osłonięty	c. Osłonięty i wentylowany		
k. 4 m powyżej wierzchołka dachu, drzewa poniżej poziomu czujnika	100%	2	6	7	3	10 - Najlepiej, anemometr powyżej oddziaływania wierzchołka dachu i drzew
Całkowita liczba punktów (doskonały wynik = 30)						

### 10.1.5. Uwagi dotyczące zakupu i konfigurowania amatorskiej stacji meteorologicznej.

#### 10.1.5.1. Rejestratory danych.

Niektóre amatorskie stacje meteorologiczne dostępne są data loggerami, które pozwalają użytkownikowi na pobieranie danych ze stacji meteorologicznych do komputera osobistego na czas, gdy stacja pogodowa i komputer mogą nie być ze sobą połączone. Okres czasu, dla którego dane mogą być przechowywane w data loggerze zależy od wielkości pamięci w urządzeniu rejestrującym i częstotliwości archiwizowania danych. Pomimo, iż funkcja ta może być pożądana, to jednak baza utworzona przez Instytut nie może akceptować danych wstecz, ze względu na niepewność znacznika czasu zarejestrowanych danych. Istnieją też stacje meteorologiczne pozwalające na podłączenie do komputera osobistego, ale wymagają, aby było to połączenie ciągłe i nie posiadają funkcjonalności przechowywania danych na stacji meteorologicznej w celu późniejszego przesłania ich do komputera.

Do przesyłania danych ze stacji meteorologicznej, poprzez komputer, do różnych sieci, dostępne są różne aplikacje. Nie wszystkie programy są dostępne dla wszystkich marek i modeli stacji pogodowych, zaś niektóre stacje nie mają możliwości podłączenia do komputera.

#### 10.1.5.2. Określenie położenia i wysokości.

Równie ważne jak ustawienie czujników w optymalnych miejscach jest udokumentowanie pozycji stacji meteorologicznej na Ziemi w poziomie (szerokość i długość geograficzna) i w pionie (wysokość).

Celem jest określenie położenia z dokładnością do 30 metrów w poziomie i 3 metrów w pionie.

Różne programy będą wymagały określenia położenia przy użyciu różnych formatów, zazwyczaj stopnie, minuty i setne części minut, czasami w systemie dziesiętkowym, rzadziej w formacie LORAN.

**Położenie horyzontalne.** Każdy punkt na Ziemi może być przedstawiony za pomocą kombinacji współrzędnych szerokości i długości geograficznej. Ziemia jest podzielona na:

- Dwie półkule pod względem szerokości geograficznej (północną i południową), podzielone na  $180^\circ$  (od  $90^\circ\text{N}$  do  $90^\circ\text{S}$ ) od bieguna południowego do bieguna północnego.
- Dwie półkule pod względem długości geograficznej (wschodnią i zachodnią), podzielone na  $360^\circ$  (od 0 do  $180^\circ\text{E}$ , od 0 do  $180^\circ\text{W}$ ) okrążających Ziemię.

Przyjęta konwencja: szerokość geograficzna północna jest dodatnia, a szerokość geograficzna południowa ujemna, o ile nie jest oznaczona za pomocą półkuli „N” lub „S” oraz długość geograficzna wschodnia jest dodatnia, a długość geograficzna zachodnia ujemna, o ile nie jest oznaczona za pomocą półkuli „E” lub „W”.

**Określenie położenia.** Istnieje kilka sposobów na określenie położenia z dokładnością do 30 metrów.

- System GPS to świetny sposób na określenie swojej szerokości i długości geograficznej, o ile urządzenie (może to być telefon z funkcją określania położenia) GPS pozyskuje (komunikuje się) dane z minimum 4 satelitów.
- W przypadku braku dostępu do systemu GPS, można wykorzystać portal Geoportal <https://www.geoportal.gov.pl/> czy Google Maps <https://www.google.com/maps>.

**Określanie wysokości.** Gdy znana jest już szerokość/długość geograficzna, można określić swoją wysokość z dokładnością do 3 metrów.

System GPS. Aby uzyskać najdokładniejszą wysokość, należy odczekać wystarczająco długo, aby urządzenie GPS pozyskało dane z czterech lub więcej satelitów. Pomiar pionowy z GPS mogą się znacznie różnić w krótkich okresach. Należy odczekać, aż wysokość GPS ustabilizuje się, a następnie przyjąć średnią z pomiarów wysokości. Wysokość GPS należy zawsze porównywać z mapami topograficznymi (dostępne również w Internecie) lub innymi zasobami kartograficznymi.

### **10.1.5.3. Czas.**

Zegar systemowy komputera należy zawsze ustawić na czas z Internetu. Systemy operacyjne umożliwiają takie ustawienie.

### **10.1.5.4. Książka stacji.**

Ważne jest udokumentowanie położenia i wyposażenia stacji meteorologicznej oraz udostępnienie tej informacji osobom korzystającym z danych. Opis lokalizacji i ekspozycji stacji może obejmować zdjęcia, rysunki lub tekst. Należy podać typ i producentów czujników oraz częstotliwość konserwacji.

### **10.1.5.5. Czujniki zapasowe.**

Mało prawdopodobne jest, iż czujniki amatorskiej stacji meteorologicznej będą przez cały czas działać dokładnie. Aby prowadzić pomiary meteorologiczne z minimalną ilością przerw, dobrze jest posiadać kilka zapasowych przyrządów. Najbardziej podstawowym ze wszystkich zapasowych czujników jest analogowy deszczomierz. Do raportowania pomiarów opadu w jakości przydatnej z punktu widzenia danych klimatycznych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy zaleca używanie deszczomierza o jak największej powierzchni zbiorczej (wlot deszczomierza), możliwie zbliżonej do powierzchni 200 cm<sup>2</sup>. Następnym najważniejszym czujnikiem zapasowym jest czujnik temperatury/wilgotności powietrza. Czujniki ręczne typu „All-in-One” mogą być dobrym, tanim systemem zapasowym. Oczywiście żaden z takich przyrządów zapasowych nie może dostarczać danych do sieci amatorskich stacji meteorologicznych.

### **10.1.5.6. Archiwum stacji i danych klimatycznych.**

Dane zebrane przez stację meteorologiczną nie tylko mają wartość w zastosowaniach czasu rzeczywistego, takich jak sieć Instytutu, lecz także jako początek klimatycznej bazy danych dla danej okolicy. W różnych częściach świata prowadzone są regionalne działania, które obejmują dzielenie się danymi klimatycznymi zebranymi przez amatorskie stacje meteorologiczne. W niektórych przypadkach ma miejsce dość zaawansowana analiza i interpretacja tych danych.

Dane są cenne. Należy regularnie wykonywać ich kopie zapasowe. Przynajmniej raz w miesiącu należy tworzyć kopię zapasową plików z danymi. Do tego celu można wykorzystać pamięć USB lub inny nośnik. Można także wysłać i przetrzymać kopię danych w tzw. chmurze. W przypadku publikowania danych pomiarowych „na żywo” na stronie internetowej,

warto pomyśleć o udostępnianiu również danych historycznych. Inni mogą uznać je za przydatne. Właściciele amatorskich stacji meteorologicznych często otrzymują prośby o udostępnienie danych historycznych dla projektów naukowych w szkołach średnich, do celów inżynierii hydrologicznej, itd. Decyzja, czy udostępniać dane należy do użytkownika, aczkolwiek są osoby, które potrzebują takich informacji lub są nimi zainteresowane. Każdy użytkownik ma możliwość dostarczania unikalnych i wartościowych informacji.

#### **10.1.5.7. Porady dotyczące obsługi stacji.**

Niniejszy rozdział zawiera nieco skróconą listę „wskazówek i podpowiedzi”, które zostały spisane w wyniku przeprowadzonych konsultacji z innymi użytkownikami amatorskich stacji meteorologicznych. Większość z nich dotyczy praktycznie każdej stacji meteorologicznej. Niewiele dotyczy konkretnej marki lub modelu stacji.

Trawę i rośliny płożące należy utrzymywać z dala od przyrządów do pomiaru temperatury i opadów. Jeśli przyrządy są zamontowane nad trawą, należy ją przyciąć tak, aby była reprezentatywna dla otaczającego obszaru oraz upewnić się, że trawa lub inna roślinność nie zakłócała działania przyrządów lub swobodnego przepływu powietrza do i wokół przyrządów.

Należy zabezpieczyć (zakopać) wszystkie przewody/linie, aby zapobiec zniszczeniu przewodów przez zwierzęta lub kosiarkę. Warto pomyśleć o zastosowaniu rury PCV jako przepustu, w którym można poprowadzić przewody.

Należy usunąć śnieg i lód z osłon termicznych (wpływają na temperatury) i z nieogrzewanych deszczomierzy. Zapobiegnie to roztopieniu opadów i błędnym pomiarom w momencie roztopów (odwilży). W tym przypadku zaleca się ręczne stopienie i zmierzenie ilość opadu.

Wokół podstawy nośnej stacji meteorologicznej należy zastosować środki owadobójcze lub inne środki zwalczające. Mrówki i inne insekty uwielbiają budować gniazda i inne siedliska wokół urządzeń meteorologicznych. Należy uważać, aby środek owadobójczy lub inne środki chemiczne nie dostały się na plastikowe części stacji meteorologicznej, ponieważ mogą one działać bardzo szkodliwie na powierzchnie tworzyw sztucznych.

Należy często sprawdzać deszczomierz pod kątem występowania niepożądanych obiektów zarówno w lejku (liście, igły drzew, itp.) jak i pod zbiornikiem opadowym. Należy

przy tym uważać, ponieważ osy, szerszenie i inne potencjalnie niebezpieczne stworzenia lubią zadawiać się w stacjach meteorologicznych.

Do mocowania luźnych kabli na maszcie montażowym należy używać opasek kablowych lub innych środków, aby przewody przyrządów nie były poruszane przez wiatr, co prowadzi do ich przedwczesnego zużycia i awarii.

W przypadku korzystania z grzałki elektrycznej na deszczomierzu lub anemometrze, należy upewnić się, że podczas cieplejszej pogody jest ona odłączona od zasilania, aby nie powodowała topnienia lub uszkodzenia elementów i nie powodowała wzrostu temperatury. Niektóre grzałki posiadają termostaty, jednakże odłączenie grzałki po ustaniu mrozów jest bezpieczniejszym posunięciem.

Należy zapoznać się instrukcją obsługi stacji meteorologicznej pod kątem zaleceń producenta dotyczących konserwacji i czyszczenia. Należy przestrzegać tych zaleceń skrupulatnie. Przykładowo, niektóre stacje meteorologiczne wymagają regularnego smarowania elementów anemometru, podczas gdy w innych absolutnie nie powinno się ich smarować.

Należy przestrzegać zaleceń producenta dotyczących wymiany baterii w zdalnych czujnikach. Niektórzy użytkownicy uważają, że wymiana baterii nieco częściej niż jest to zalecane, pozwala utrzymać dobrą komunikację pomiędzy przyrządami a konsolą.

Warto rozważyć użycie baterii litowych jako baterii zapasowych, w zdalnych przyrządach w okresie zimowym.

Jeśli stacja wyposażona jest w akumulatory, należy stosować się do zaleceń producenta dotyczących typów akumulatorów (prawdopodobnie NiCd lub NiMH).

Podczas opadów marzących czasami dochodzi do oblodzenia anemometrów. Należy zachować szczególną ostrożność przy usuwaniu lodu z anemometrów, gdyż są one zazwyczaj wykonane z plastiku i mogą dość łatwo pęknąć w przypadku uderzenia, szczególnie w niskich temperaturach, kiedy plastik jest najbardziej kruchy.

## **10.2. System APRS.**

APRS (Automatic Packet Reporting System) to amatorski, automatyczny system służący ustalaniu pozycji ruchomych obiektów, który oparty jest na technice krótkofalarskiej - Packet Radio. Często mylnie określany jako System Automatycznego Raportowania Pozycji.

Najlepszym jednak tłumaczeniem, a właściwie interpretacją systemu, powinna być nazwa „Taktyczny System Wspomagania Łączności Mobilnej”. To właśnie taka nazwa najlepiej oddaje cel działania systemu APRS oraz możliwości jego wykorzystania a związana jest ściśle z jego rodowodem. APRS wywodzi się bowiem z Akademii Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych (United States Naval Academy), gdzie w 1984 roku, twórca systemu Bob Bruninga (95), przeprowadzał pierwsze eksperymenty z pozycjonowaniem łodzi na ekranie komputera. System został oficjalnie przyjęty jako nowy standard Pocket Radio (PR) w 1992 roku podczas TAPR/ARRL Digital Communications Conference.

Pocket Radio jest techniką komunikacji pomiędzy stacjami w formie małych pakietów informacji cyfrowej modulującej sygnał radiowy. Pakiety często nazywane są potocznie ramkami. Pocket Radio bazuje na protokole AX.25 będącego modyfikacją sieciowego protokołu X.25 (96), który znany jest z sieci TCP/IP. W tabelach (Tab. 32 i 33) przedstawiono strukturę ramki. W polu adres zamiast adresów MAC (adres sprzętowy) wpisywane są znaki krótkofalarskie (np. SP9EIJ), lub nazwy usług sieciowych (np. APRS).

Tab.32. Struktura ramki U (nienumerowanej) oraz S (nadzorczej) (97).

Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Tab. 33. Struktura ramki I (informacyjnej) (97).

Flag	Address	Control	PID	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	8 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Protokół ten pozwala na przesyłanie danych w trybie połączeniowym (np. BBS) bądź bezpołączeniowym (np. APRS). Pozwala też na kapsułkowanie (ang. encapsulation) wyższych protokołów takich jak TCP/IP czy APRS. Ramki z danymi tworzone są przez kontroler TNC, a następnie w postaci binarnej NRZ podawane na modem modulujący sygnał audio.

W warstwie fizycznej przesyłanie pakietów jest realizowane w następujący sposób. W przypadku standardu 1200 b/s, ciąg bitów pakietu moduluje sygnał akustyczny klucząc jego częstotliwość pomiędzy wartościami 1200 Hz i 2200 Hz (tzw. AFSK). Zakodowany sygnał akustyczny wprowadzany jest w tor akustyczny nadajnika i moduluje falę nośną w ten sam sposób jak zwykły sygnał mowy. W tym standardzie stosuje się modulację FM. Podczas odbioru proces zachodzi w odwrotnej kolejności. Sygnał radiowy w odbiorniku zostaje zamieniony na sygnał akustyczny, który przetwarzany jest w modemie na ciąg bitów



podlegający dalszemu przetwarzaniu w programie komunikacyjnym. Każdy pakiet (ramka) w sieci Pocket Radio zawiera znak nadawcy, znak (adres) odbiorcy, znak stacji pośredniczącej (opcjonalnie), dane, sumę kontrolną całego pakietu. Niewątpliwą zaletą systemu jest to, że stacje korespondentów w sieci Pocket Radio nie muszą „słyszeć” się wzajemnie. Dzięki możliwości automatycznej retransmisji pakietów, możliwe jest przekazywanie informacji na dalsze odległości pod warunkiem, że w zasięgu obu korespondentów znajduje się stacja z aktywną funkcją przekaźnika (tzw. digipeater w skrócie DIGI) (96).

W protokole stosowanym w sieci Pocket Radio zdefiniowanych jest kilka typów pakietów służących do rozgłaszania komunikatów, sterowania połączeniem dwóch stacji, przekazywania informacji, potwierdzania jej lub sygnalizowania błędów transmisji. Sieć APRS bazuje na pierwszym typie pakietów – nienumerowanych IU. Pakiety UI mogą być kierowane do grupy odbiorców i na poziomie transportowym protokołu nie potwierdza się ich prawidłowego odbioru. Taki wybór typu pakietu dla sieci APRS wynika z faktu, że zadaniem tej sieci jest umożliwienie rozgłaszania komunikatów a nie wymiana informacji w relacji punkt – punkt pomiędzy wybranymi użytkownikami, choć i ta funkcjonalność w pewnym zakresie jest również dostępna (98). Pakiet danych w sieci APRS ma budowę bazującą na ramce UI protokołu AX.25 i zawiera:

- znak nadawcy: np. SP9PJ;
- adres przeznaczenia: może to być konkretny odbiorca np. SP9PJ, VK4HGT itp., grupa adresatów, np. BEACON, APRS, SPACE itp.;
- adres DIGI – czyli definicję zasad przesyłania pakietów przez stacje pośredniczące.

Zamiana jawnie podawanej listy stacji przekaźnikowych na opis reguły powtarzania pakietu powoduje, iż każda stacja z funkcją DIGI, która odbiera i dekoduje pakiet APRS automatycznie powtarza go przekazując dalej w sieci APRS. Pakiet może być przekazywany wielokrotnie, aż do osiągnięcia zdefiniowanego ograniczenia.

Niektóre stacje sieci APRS posiadają dodatkową funkcjonalność polegającą na przekazywaniu komunikatów odebranych z sieci radiowej do dedykowanych serwerów APRS gromadzących informacje o ruchu APRS i udostępniających je użytkownikom poprzez Internet. Stacje takie oznaczane są jako IGATE – internetowe bramki APRS.

Komunikaty rozgłaszane w sieci APRS najczęściej zawierają położenie geograficzne, często na podstawie podłączonego do stacji odbiornika GPS, dane telemetryczne, pogodowe oraz krótkie informacje tekstowe.

### 10.2.1. Raporty pogodowe.

#### 10.2.1.1. Rodzaje raportów pogodowych.

APRS jest idealnym narzędziem do raportowania warunków pogodowych za pomocą pakietów. System obsługuje szeregową transmisję danych z amatorskich stacji pogodowych różnego typu (Davis, Ultimeter, Peet Brothers i inne). Możliwe jest nawet zdalne zamontowanie stacji Ultimeter przy użyciu tylko TNC i radia do raportowania i tworzenia wykresów. APRS nadaje się również idealnie do inicjatywy obserwatorów pogodowych (40) (95) (99).

APRS obsługuje trzy rodzaje raportów pogodowych:

- Surowy raport pogodowy;
- Raport pogodowy bez położenia;
- Kompletny raport pogodowy.

#### 10.2.1.2. Identyfikatory typu danych.

W raportach pogodowych zawierających surowe dane używane są następujące identyfikatory APRS typu danych:

- ! Ultimeter 2000;
- # Peet Bros U-II;
- \$ Ultimeter 2000;
- \* Peet Bros U-II;
- Dane pogodowe bez położenia.

Dodatkowo, gdy dane surowe zostały przetworzone (na przykład poprzez wstawienie informacji o położeniu stacji), zamiast nich mogą być użyte cztery pozycje identyfikatorów typu danych !, #, / i @.

W tym przypadku raport pogodowy jest identyfikowany w danych APRS za pomocą symbolu pogody / lub #.

#### 10.2.1.3. Surowe raporty pogodowe.

Surowe dane pogodowe z samodzielnej stacji pogodowej są zawarte w polu informacyjnym ramki APRS AX.25 (Tab. 34) (99) (100).

Tab. 34. Format surowego raportu pogodowego (99) (100).

Surowy raport pogodowy	
Bajty:	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>! lub # lub \$ lub **</span> <span>Surowe dane pogodowe</span> </div>
1	N
<u>Przykłady</u> <b>!!006B0058 03500000----03E9-----00210514 0000005D</b> <span style="float: right;">Ultimeter 2000</span> <b>#50B7500820082</b> <span style="float: right;">Peet Bros U-II</span> <b>SULTW0 0310 037 02CE0 0 69----00008 6A00001----011901CC00000005</b> <span style="float: right;">Ultimeter 2000</span> <b>*7007600000000</b> <span style="float: right;">Peet Bros U-II</span>	

#### 10.2.1.4. Raporty pogodowe bez położenia.

Surowe uogólnione dane pogodowe z automatycznej stacji pogodowej są zawarte w polu informacyjnym ramki APRS AX.25 (Tab. 35).

Tab. 35. Format raportu pogodowego bez położenia (99) (100).

Raport pogodowy bez położenia				
	Czas MDGM	Dane pogodowe bez położenia	Oprogramowanie APRS	Jednostka WX
Bajty:	8	n	S 1	uuuu 24
1	n			
<u>Przykład</u> <b>_10090556c220s004g005t077r000p000P000h50b09900wRSW</b> <span style="float: right;">raport uzyskany z danych stacji Radio Shack WX.</span>				

#### 10.2.1.5. Oprogramowanie APRS.

Raport pogodowy może zawierać jednoznakowy kod S oznaczający rodzaj oprogramowania APRS, które jest używane na stacji pogodowej:

- **D** APRSdos;
- **M** MacAPRS;
- **P** pocketAPRS;
- **S** APRS+SA;
- **W** WinAPRS;
- **X** X-APRS (Linux).

### 10.2.1.6. Typ stacji pogodowej.

Raport pogodowy może zawierać 2 – 4 znakowy kod uuuu typu stacji pogodowej. Zostały przydzielone następujące kody:

- **Dvs** Davis;
- **HKT** Heathkit;
- **PIC** Urządzenie PIC;
- **RSW** Radio Shack;
- **U-II** Oryginalny Ultimeter U-II (tryb automatyczny);
- **U2R** Oryginalny Ultimeter U-II (tryb zdalny);
- **U2k** Ultimeter 500/2000;
- **U2kr** Zdalny rejestrator Ultimeter;
- **U5** Ultimeter 500;
- **Upkm** Zdalny Ultimeter w trybie pakietowym.

Użytkownik może zdefiniować dowolny inny kod 2 – 4 znakowy dla urządzeń nie wymienionych na powyżej liście.

### 10.2.1.7. Dane pogodowe bez położenia.

Format danych pogodowych w ramach raportu pogodowego położenia różni się w zależności od typu stacji pogodowej (101), jednakże zasadniczo zawiera niektóre lub wszystkie następujące elementy (Tab. 36).

Tab. 36. Dane pogodowe bez położenia (99) (100) (101).

Dane pogodowe bez położenia									
	Kierunek wiatru	Prędkość wiatru	Poryw	Temp.	Deszcz ostatnia godz.	Deszcze ostatnie 24 h	Deszcz od północy	Wilgotność	Ciśnienie barometryczne
	<b>Cccc</b>	<b>ssss</b>	<b>gggg</b>	<b>ttt</b>	<b>rrr</b>	<b>pppp</b>	<b>PPPP</b>	<b>hh</b>	<b>bbbbbb</b>
Bajty:	4	4	4	4	4	4	4	3	5

gdzie:

- **c** = kierunek wiatru (w stopniach);
- **s** = utrzymująca się jednocminutowa prędkość wiatru (w mph);
- **g** = poryw (szczytowa prędkość wiatru w milach na godzinę w ciągu ostatnich 5 minut);
- **t** = temperatura (w stopniach Fahrenheita). Temperatury poniżej 0 wyrażane są jako -01 do -99;
- **r** = opad deszczu (w setnych częściach cala) w ciągu ostatniej godziny;

- **p** = opad deszczu (w setnych częściach cala) w ciągu ostatnich 24 godzin;
- **P** = opad deszczu (w setnych częściach cala) od północy;
- **h** = wilgotność (w %, 0 0 = 100%);
- **b** = ciśnienie barometryczne (w dziesiątych częściach milibarów / dziesiątych częściach hPa).

Inne parametry, które są dostępne w niektórych stacjach pogodowych to:

- **L** = promieniowanie słoneczne (w W/m<sup>2</sup>) 999 i poniżej;
- **l** (mała litera „L”) = jasność (w W/m<sup>2</sup>) 1000 i więcej. (L wstawiona jest w miejsce jednej z wartości opadów);
- **s** = opad śniegu (w calach) w ciągu ostatnich 24 godzin;
- **#** = surowy licznik deszczu.

Uwaga: Raport pogodowy musi zawierać co najmniej znacznik czasowy MDHM, kierunek wiatru, prędkość wiatru, poryw i temperaturę. Pozostałe parametry mogą być w innej kolejności (lub mogą nawet nie występować). W przypadku gdy element danych meteorologicznych jest nieznan lub nieistotny, jego wartość może być wyrażona jako ciąg kropek lub spacji. Na przykład, jeżeli nie ma czujnika prędkości/wiatru, wartości mogą być wyrażone jako:

**c...s...g...** lub **c,,,,,s,,,,,g,,,,,**

Przykładowo, deszczomierz użytkownika może wygenerować raport jak poniżej:

`_10090556c...s...g...t...P012Tom`

(Data/znacznik czasu, kierunek wiatru/prędkości/poryw i parametry temperatury powietrza muszą być uwzględnione, nawet jeśli nie są znaczące).

### **10.2.1.8. Lokalizacja stacji pogodowych przekazujących surowe dane i dane bez położenia.**

APRS nie może wyświetlać danych pogodowych na mapie bez znajomości lokalizacji stacji wysyłającej. W przypadku stacji nadającej surowe lub bezpozycyjne raporty pogodowe, stacja musi od czasu do czasu wysyłać dodatkowy pakiet zawierający jej położenie (używając dowolnego z dozwolonych formatów długości/szerokości geograficznej i skompresowanych formatów długości/szerokości geograficznej opisanych wcześniej).

### 10.2.1.9. Symbole stacji pogodowych przekazujących surowe dane i dane bez położenia.

Ze względu na to, że surowe lub bezpozycyjne raporty pogodowe nie zawierają symbolu wyświetlania w polu informacyjnym AX.25, możliwe jest zamiast tego podanie symbolu w ogólnym adresie docelowym APRS (np. GPSHW lub GPSE63). Alternatywnie, jeśli stacja pogodowa znajduje się na balonie, w adresie źródłowym może być zastosowany SSID – 11 (np. N0QBF-11).

### 10.2.1.10. Kompletne raporty pogodowe ze znacznikiem czasu i położeniem.

Kompletny raport pogodowy APRS może zawierać znacznik czasu i informację o położeniu z wykorzystaniem dowolnego z dopuszczalnych formatów szerokości/długości geograficznej i skompresowanej szerokości/długości geograficznej, opisanych wcześniej. Obiekt APRS może również zawierać powiązane z nim informacje pogodowe. Przykłady formatów raportów są przekazane poniżej. Należy zauważyć, że kodem symbolu w każdym przypadku jest **I** (znak podkreślenia). Ponadto, w przypadku raportów pogodowych bez położenia, 7 – bajtowe rozszerzenia danych kierunku i prędkości wiatru zastępują pola **cccc** i **ssss**.

Tab. 37. Pełny format raportu z podaniem długości i szerokości geograficznej, bez znacznika czasu (99) (100) (101).

Pełny format raportu pogodowego z podaniem długości/szerokości geograficznej, bez znacznika czasu									
	<b>I</b> lub <b>I</b>	Szer. geo.	Symbol ID tabeli	Dł. geo.	Kod symbolu	Kierunek / prędkość wiatru	Dane pogodowe	Oprogramowanie APRS	Jednostka WX
Bajty:	1	8	1	9	1	7	n	1	2-4
<u>Przykłady</u>  <b>I4 903.50N/072 01.75W 22 0/004g005t077r000p000P000h50b09900wRSW</b> <b>I4903.5 0N/07201.7 5W 22 0/004g005t077r000p000P000h50b.....wRSW</b>									

Tab. 38. Pełny format raportu z podaniem długości i szerokości geograficznej i znacznikiem czasu (99) (100) (101).

Pełny format raportu pogodowego z podaniem długości/szerokości geograficznej i znacznikiem czasu										
	<b>I</b> lub <b>@</b>	Czas DHM / HMS	Szer. geo.	Symbol ID tabeli	Dł. geo.	Kod symbolu	Kierunek / prędkość wiatru	Dane pogodowe	Oprogramowanie APRS	Jednostka WX
Bajty:	1	7	8	1	9	1	7	n	1	2-4
<u>Przykład</u>  <b>@092345z4903.50N/07201.75W_220/004g005t-07r000p000P000h50b09900wRSW</b>										

Tab. 39. Pełny format raportu ze skompresowaną długością i szerokością geograficzną, bez znacznika czasu (99) (100) (101).

Pełny format raportu pogodowego ze skompresowaną długością/szerokością geograficzną, bez znacznika czasu										
lub	Symbol ID tabeli	Skompr. szer. geo. YYYY	Skompr. dł. geo. XXXX	Kod symbolu	Kierunek / prędkość wiatru	Rodzaj kompresji T	Dane pogodowe n	Oprogramowanie APRS S	Jednostka WX uuuu	
Bajty:	1	4	4	1	2	1	n	1	2-4	
Przykład										
=/5L!!<*e7>_7P[g005t077r000p000P000h50b09900wRSW										

Tab. 40. Pełny format raportu ze skompresowaną długością i szerokością geograficzną i znacznikiem czasu (99) (100) (101).

Pełny format raportu pogodowego ze skompresowaną długością/szerokością geograficzną, ze znacznikiem czasu											
lub	Czas DHM / HMS	Symb. ID tabeli	Skompr. szer. geo. YYYY	Skompr. dł. geo. XXXX	Kod symbolu	Kierunek / prędkość wiatru	Rodzaj kompresji T	Dane pogodowe n	Oprogramowanie APRS S	Jednostka WX uuuu	
Bajty:	7	1	4	4	1	2	1	n	1	2-4	
Przykład											
@092345z/5L!!<*e7>_7P[g005t077r000p000P000h50b09900wRSW											

Tab. 41. Pełny format raportu z obiektem oraz długością i szerokością geograficzną (99) (100) (101).

Pełny format raportu pogodowego z obiektem oraz długością/szerokością geograficzną											
lub	Nazwa obiektu	Czas DHM / HMS	Szer. geo.	Symb. ID tabeli	Dł. geo.	Kod symbolu	Kierunek / prędkość wiatru	Dane pogodowe n	Oprogramowanie APRS S	Jednostka WX uuuu	
Bajty:	9	7	8	1	9	1	7	n	1	2-4	
Przykłady											
;BRENDVVV*4903.50N/07201.75W_220/004g005t077r000p000P000h50b09900wRSW											
;BRENDVVV*092345z4903.50N/07201.75W_220/004g005b0990											

### 10.2.1.11. Dane o burzach.

Raporty APRS mogą zawierać dane dotyczące orkanów (Tab. 42). Format tych danych przedstawia informacje dotyczące kierunku przemieszczania się orkanu, prędkości, typu burzy, stałej prędkości wiatru, maksymalnego porywu wiatru, ciśnienia atmosferycznego i promieni wiatrów.

Tab. 42. Dane o orkanach (99) (100) (101).

Dane o orkanach									
Kierunek	█	Prędkość	Typ burzy	Trwała prędkość wiatru	Szczytowe porywy wiatru	Ciśnienie środkowe	Promień wiatrów huraganowych	Promień wiatrów burzy tropikalnej	Promień całej wichury
			█ST	█www	█GGG	█PPPP	█RRR	█rrr	█ggg
3	1	3	3	4	4	5	4	4	4

gdzie: ST = HC (orkan)

- www = utrzymująca się prędkość wiatru (w węzłach);
- GGG = poryw (szczytowa prędkość wiatru w węzłach);
- PPPP = ciśnienie centralne (w milibarach/h Pascal);
- RRR = promień wiatru huraganowego (w milach morskich).

Dane dotyczące orkanu będą zazwyczaj zawarte w raporcie z obiektu, ale mogą być również zawarte w raporcie z położenia lub raporcie z urzędzenia.

Symbolem wyświetlanym będą:

- @ Orkan (obecna pozycja);
- /@ Orkan (przewidywane przyszłe położenie).

### 10.2.2. APRS - IS.

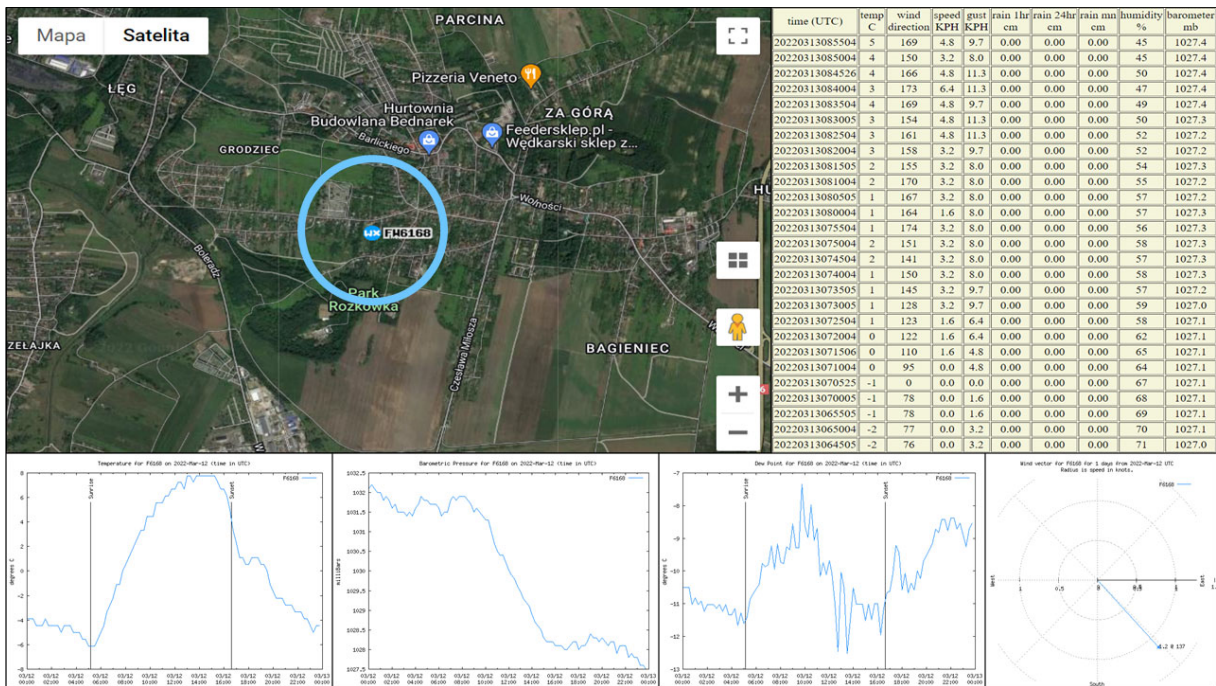
APRS - IS to powszechna nazwa nadana sieci internetowej, która łączy, za pomocą Internetu, różne systemy radiowe APRS na całym świecie. Dzięki takiemu rozwiązaniu użytkownik ma możliwość na bieżąco podglądać dane telemetryczne APRS w dowolnej lokalizacji, na obszarze całego ziemskiego globu (102).

Połączenie APRS i Internetu umożliwiło właścicielom amatorskich stacji meteorologicznych udostępnianie danych pomiarowych z każdego zakątka świata bez znajomości struktury APRS.

Rozwiązanie to przyczyniło się do powstania serwisów internetowych, w których generowane są meteorologiczne pakiety (ramki), mapy, tabele oraz wykresy graficzne. Do najbardziej znanych serwisów należą:

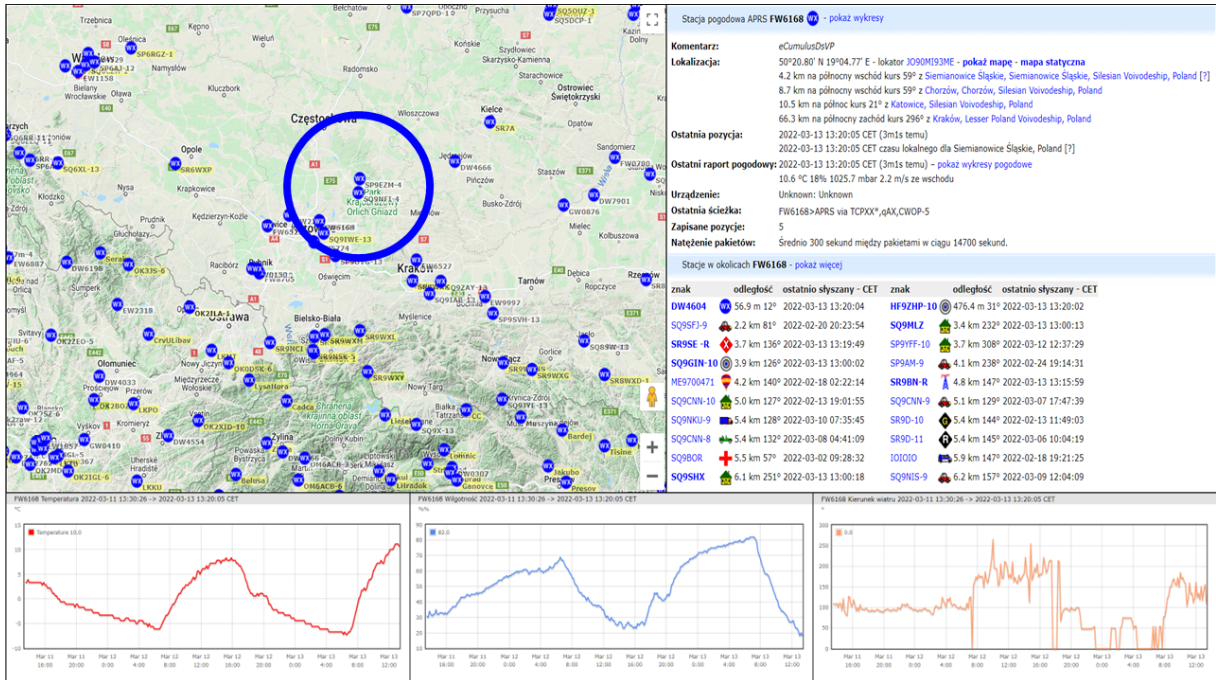


- FindU <http://www.findu.com/>



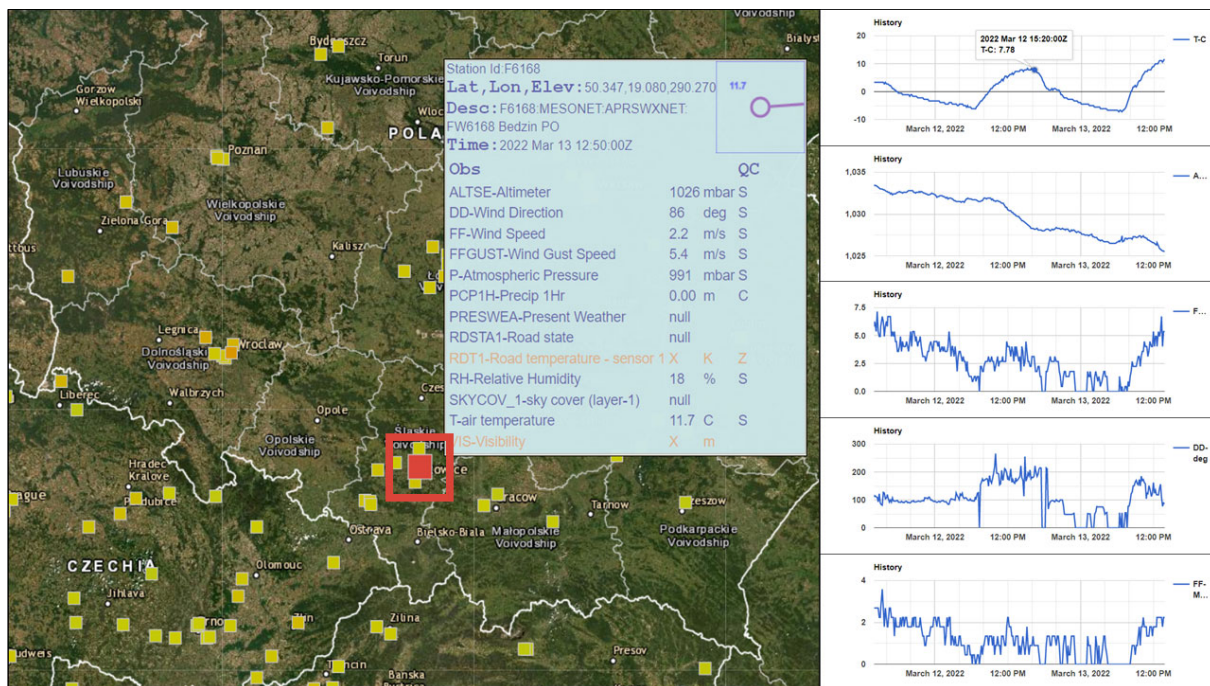
Rys. 49. Serwis internetowy FindU. Opracowanie własne na podstawie grafik z Internetu (103).

- aprs.fi <https://aprs.fi/>



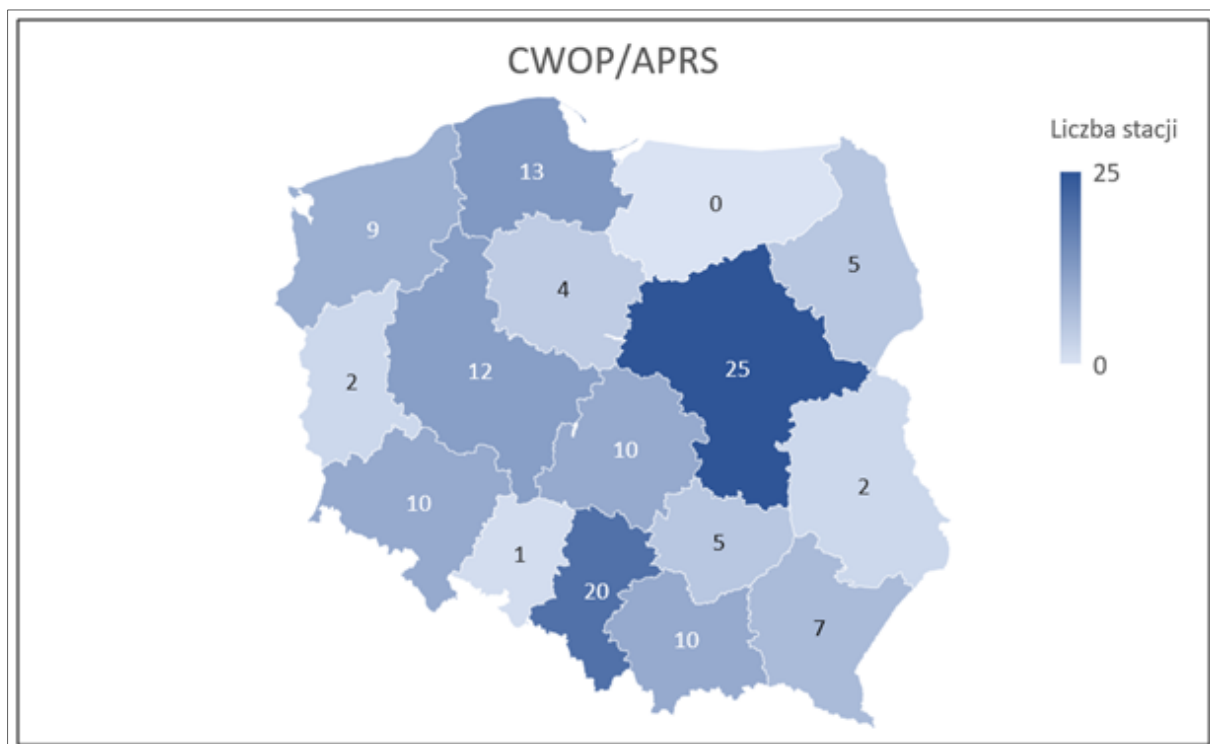
Rys. 50. Serwis aprs.fi. Opracowanie własne na podstawie grafik z Internetu (40).

- CWOP <https://madis-data.ncep.noaa.gov/>



Rys. 51. Serwis MADIS/CWOP. Opracowanie własne na podstawie grafik z Internetu (104).

### 10.2.2.1. Citizen Weather Observer Program.



Rys. 52. Rozmieszczenie amatorskich stacji meteorologicznych w sieci CWOP wg województw (stan na luty 2020 r.). Opracowanie własne.

CWOP - Citizen Weather Observer Program (Programu Obywatelskich Obserwacji Pogody) to program łączący pomiarowców, wolontariuszy, którzy udostępniają dane meteorologiczne ze swoich amatorskich stacji. CWOP ma trzy główne cele (105):

- Gromadzenie danych pogodowych, które dostarczane są przez właścicieli amatorskich stacji meteorologicznych (PWS);
- Udostępnianie danych pogodowych służbom meteorologicznym;
- Przekazywanie informacji zwrotnych właścicielom PWS dotyczącym jakości danych generowanych przez ich stacje meteorologiczne.

Szacuje się, że w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej w sieci CWOP działa ponad 7.000 amatorskich stacji meteorologicznych (105).

Tab. 43. Liczba amatorskich stacji meteorologicznych w sieci CWOP (luty 2020 r.). Opracowanie własne.

Województwo	Liczba stacji
dolnośląskie	10
kujawsko - pomorskie	4
lubelskie	2
lubuskie	2
Łódzkie	10
małopolskie	10
mazowieckie	25
opolskie	1
podkarpackie	7
podlaskie	5
pomorskie	13
Śląskie	20
świętokrzyskie	5
warmińsko - mazurskie	0
wielkopolskie	12
zachodniopomorskie	9
Razem	135

Wg wyliczeń w roku 2020, w Polsce działało 135 stacji (Tab. 43). Najwięcej amatorskich stacji meteorologicznych w sieci CWOP działało w województwie mazowieckim i śląskim, najmniej w województwie opolskim. W województwie warmińsko - mazurskim nie działała żadna stacja (Tab. 43) (Rys. 52).

### 10.3. Procedura włączenia danych z PWS do systemu pomiarowo-obszernego IMGW-PIB.

Programy, które dostarczane są wraz z zakupem stacji meteorologicznej i które mają możliwość współpracy z CWOP, do formatowania wiadomości do transmisji używają protokołu komunikacyjnego APRS. Przykład sformatowanej wiadomości pogodowej APRS oraz opis (Tab. 44):

```
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:@252055z5020.83N/01904.78E_314/000g002t047r000p000P000h54b10260eCumulusDsVP
```

Tab. 44. Opis poszczególnych pól komunikatu pogodowego APRS. Opracowanie własne.

Rozkodowany komunikat pogodowy APRS	
Pole	Znaczenie
DW4604	numer użytkownika
>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:	tabliczka znamionowa
@252055z	ddhhmm (dzień, godzina, minuta) w formacie UTC dla czasu, w którym generowany jest raport
5020.83N/01904.78E	lokalizacja użytkownika, format to ddmm.mm, tj. stopnie, minuty i setne części minut. Długość geograficzna ma trzy cyfry stopni i wymagane jest zero wiodące
314	kierunek wiatru od rzeczywistej północy (w stopniach)
/000	średnia prędkość wiatru w milach na godzinę
g002	maksymalny poryw wiatru w milach na godzinę (w ciągu ostatnich dziesięciu minut)
t047	temperatura w stopniach Fahrenheita (jeśli nie jest dostępna, użyte jest t.., a temperatury poniżej zera wyrażane są jako -01 do -99)
r000	deszcz w ciągu ostatniej 1 godziny (w setnych częściach cala - pozycja może być pominięta)
p000	deszcz w ciągu ostatnich 24 godzin (w setnych częściach cala - pozycja może być pominięta)

Rozkodowany komunikat pogody APRS	
Pole	Znaczenie
P000	deszcz od strefowej północy (w setnych częściach cala - pozycja może być pominięta)
h54	wilgotność w procentach, 00 to 100% (pozycja może być pominięta)
b10260	ciśnienie barometryczne w dziesiątych częściach milibarów, zredukowane do poziomu morza (pozycja może być pominięta)
eCumulusDsVP	użyte oprogramowanie

W APRS podstawowe jednostki, jakie zostały przyjęte, to jednostki imperialne a nie w Międzynarodowym Układzie Jednostek Miar (układ SI). Podczas dekodowania komunikatu należy więc pamiętać o przeliczeniu stopni Fahrenheita na stopnie Celsjusza, mil na godzinę na kilometry na godzinę (opcjonalnie metry na sekundę) i cali na milimetry (Tab. 45).

Poniżej przedstawiono wzory potrzebne do przeliczeń wszystkich jednostek występujących w oryginalnym komunikacie pogodowym.

Tab. 45. Opis poszczególnych pól komunikatu pogodowego APRS z przeliczeniem do układu SI. Opracowanie własne.

Rozkodowany komunikat pogody APRS		
Pole		Znaczenie
DW4604		numer użytkownika
>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:		tabliczka znamionowa
Jednostki imperialne	Jednostki w układzie SI	
@252055z	2022-03-25 20:55 UTC	ddhhmm (dzień, godzina, minuta) w formacie UTC dla czasu, w którym generowany jest raport
5020.83N/01904.78E	50.34717°N 19.07967°E	lokalizacja użytkownika, format to ddmm.mm, tj. stopnie, minuty i setne części minut. Długość geograficzna ma trzy cyfry stopni i wymagane jest zero wiodące
314	314°	kierunek wiatru od rzeczywistej północy (w stopniach)
/000	0.0 m/s	średnia prędkość wiatru w milach na godzinę

Rozkodowany komunikat pogodowy APRS		
Pole		Znaczenie
g002	0.9 m/s	maksymalny poryw wiatru w milach na godzinę (w ciągu ostatnich dziesięciu minut)
t047	8.3°C	temperatura w stopniach Fahrenheita (jeśli nie jest dostępna, użyte jest t... a temperatury poniżej zera wyrażane są jako -01 do -99)
r000	0.0 mm	deszcz w ciągu ostatniej 1 godziny (w setnych częściach cala - pozycja może być pominięta)
p000	0.0 mm	deszcz w ciągu ostatnich 24 godzin (w setnych częściach cala - pozycja może być pominięta)
P000	0.0 mm	deszcz od strefowej północy (w setnych częściach cala - pozycja może być pominięta)
h54	54%	wilgotność w procentach, 00 to 100% (pozycja może być pominięta)
b10260	1026.0 hPa	ciśnienie barometryczne w dziesiątych częściach hektopaskala, zredukowane do poziomu morza (pozycja może być pominięta)
eCumulusDsVP		użyte oprogramowanie

$$T_{\text{Fahrenheit}} = 32 + \frac{9}{5} \cdot (T_{\text{Celsjusz}}) \quad (15)$$

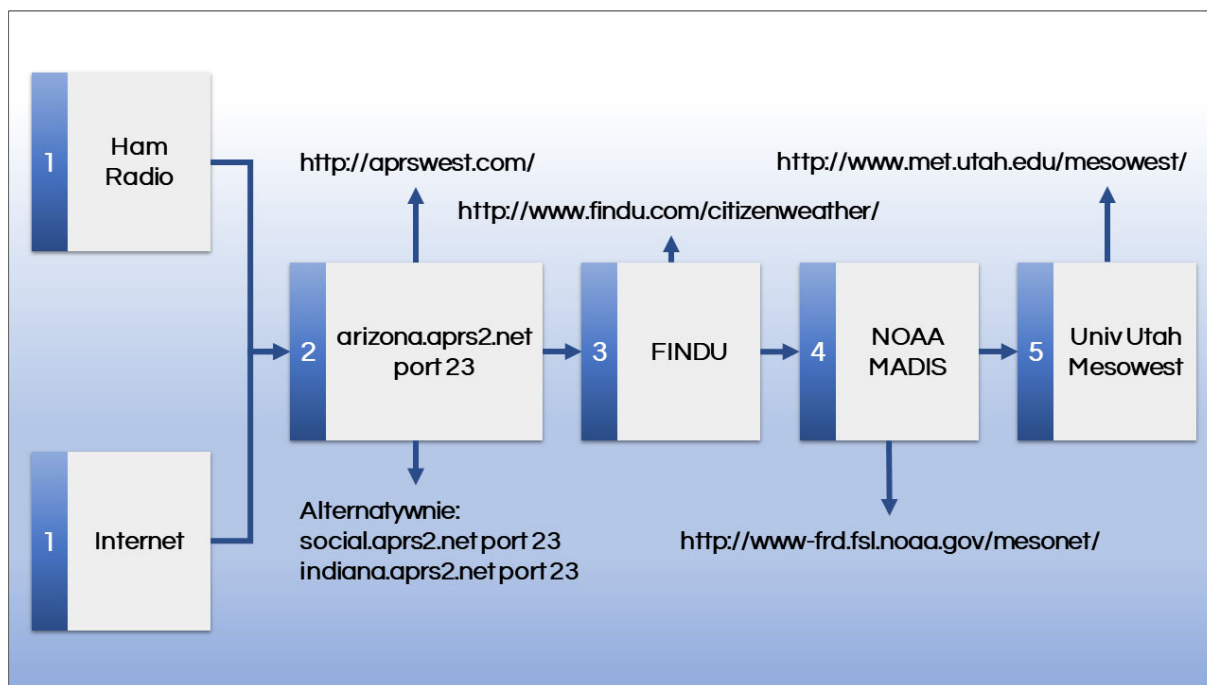
$$1 \text{ mph} = 1,609344 \text{ km/h} \quad (16)$$

$$1 \text{ mph} = 0,44704 \text{ m/s} \quad (17)$$

$$1 \text{ cal} = 25,3995 \text{ mm} \quad (18)$$

Wszystkie komunikaty pogodowe umieszczone są w standardowej bazie danych na stronie <http://www.findu.com/> w 5 minutowych odstępach czasowych. Poniższy rysunek (Rys. 53) przedstawia kolejne etapy, które pokonuje wiadomość CWOP/APRS, aby

dotrzeć do serwera FINDU i dalej do Narodowej Agencji Oceanów i Atmosfery (NOAA). Pomimo, że raport pogodowy użytkownika przechodzi przez kolejne serwery, czas potrzebny na przesłanie raportu pogodowego z komputera użytkownika do serwera FINDU nie przekracza kilku sekund.



Rys. 53. Schemat przepływu danych CWOP/APRS. Opracowanie własne na podstawie (103).

```

FINDU
MOC

DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-4:270100z5020.83N/01904.78E_000/000g00t037r000p001P000h85b10288eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-7:270105z5020.83N/01904.78E_018/000g00t037r000p001P000h86b10287eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270110z5020.83N/01904.78E_014/000g00t037r000p001P000h84b10288eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-4:270115z5020.83N/01904.78E_015/000g00t037r000p001P000h82b10288eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-6:270120z5020.83N/01904.78E_030/000g00t036r000p001P000h81b10288eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-7:270125z5020.83N/01904.78E_034/000g00t036r000p001P000h80b10290eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270130z5020.83N/01904.78E_017/000g00t036r000p001P000h79b10290eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-4:270135z5020.83N/01904.78E_014/000g00t036r000p001P000h76b10291eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270140z5020.83N/01904.78E_028/000g00t035r000p001P000h75b10291eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270145z5020.83N/01904.78E_015/000g00t035r000p001P000h74b10292eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-3:270150z5020.83N/01904.78E_016/000g00t035r000p001P000h74b10292eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-7:270155z5020.83N/01904.78E_021/000g00t035r000p001P000h74b10292eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-7:270200z5020.83N/01904.78E_035/001g00t035r000p001P000h73b10293eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-6:270205z5020.83N/01904.78E_051/001g00t035r000p001P000h72b10292eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-4:270210z5020.83N/01904.78E_042/000g00t035r000p001P000h72b10293eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-4:270215z5020.83N/01904.78E_033/000g00t034r000p001P000h72b10293eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-5:270220z5020.83N/01904.78E_048/000g00t034r000p001P000h72b10293eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-5:270225z5020.83N/01904.78E_051/001g00t034r000p001P000h72b10294eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-3:270230z5020.83N/01904.78E_050/001g00t034r000p001P000h72b10294eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270235z5020.83N/01904.78E_052/000g00t034r000p001P000h73b10294eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-6:270240z5020.83N/01904.78E_053/000g00t034r000p001P000h73b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-3:270245z5020.83N/01904.78E_049/000g00t034r000p001P000h73b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-7:270250z5020.83N/01904.78E_054/000g00t033r000p001P000h73b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-6:270255z5020.83N/01904.78E_061/000g00t033r000p001P000h74b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-4:270300z5020.83N/01904.78E_052/000g00t033r000p001P000h74b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270305z5020.83N/01904.78E_049/000g00t033r000p001P000h74b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-1:270310z5020.83N/01904.78E_041/000g00t033r000p001P000h75b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-6:270315z5020.83N/01904.78E_000/000g00t032r000p001P000h75b10295eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-3:270320z5020.83N/01904.78E_000/000g00t032r000p001P000h75b10296eCumulusDsVP
DW4604>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-7:270325z5020.83N/01904.78E_041/000g00t032r000p001P000h76b10297eCumulusDsVP

```

Rys. 54. Raporty pogodowe z bazy danych findu.com. Opracowanie własne na podstawie grafiki z Internetu (103).

Dane CWOP/APRS wysyłane są w czasie rzeczywistym z amatorskiej stacji meteorologicznej użytkownika przez Internet lub poprzez bezprzewodową transmisję radiową, przy użyciu technologii krótkofalarskiej, do miejsca z dostępem do APRS - IS (IGATE). Następnie dane przekazywane są do serwera systemu APRS „Tier 2”, zazwyczaj „arizona.aprs2.net” port 23, który jest głównym punktem dostępowym dla wiadomości pogodowych w APRS. Kolejnym etapem jest retransmitowanie do serwera FINDU, gdzie raporty umieszczane są w bazie danych (Rys. 54) i dostępne dla użytkowników zewnętrznych. Posiadając numer użytkownika dane można znaleźć pod adresem <http://www.findu.com/cgi-bin/raw.cgi?call=DW4604> zamieniając numer użytkownika „DW4604”.

## 10.4. Kod pobierający dane i kontrola jakości.

### 10.4.1. Kod nr 1 – crawler.

```
# -*- coding: utf-8 -*-

import datetime

import requests

from common.drivers.measurements import Measurements, Measurement
from common.utils.date import Date
from common.utils.logable import Logable
from crawler.parser import Parser

class FindU(Logable):

    URL_TEMPLATE = "http://www.findu.com/cgi-bin/raw.cgi?call={}"
    TIMEOUT = 30
    RETRY = 3

    def __init__(self, code):
        self._code = code
        self._parser = Parser()
        self._measurements_db = Measurements()

    def crawl(self): # główny skrypt dla danej amatorskiej stacji
meteorologicznej
        last_date = self._get_last_date() # funkcja zwracająca datę, z
której są ostatnie dane dla danej amatorskiej stacji meteorologicznej
        response = self._download() # pobieranie danych z Internetu dla
danej amatorskiej stacji meteorologicznej
        if response is None:
            self.log_error("Can't download data")
            return
        to_insert = self._get_rows_from_response(response, last_date) #
filtrowanie danych pobranych ze strony
        self.log_info("New {} measurements to
insert".format(len(to_insert)))
        for row in to_insert:
            self._measurements_db.insert_one(row) # umieszczanie zebranych
informacji w bazie danych
```



```

self.log_info("Done")

def _download(self):
    start = datetime.datetime.utcnow()
    for retry in range(self.RETRY): # wykonywanie prób na wypadek
problemów z siecią
        response = requests.get(self.URL_TEMPLATE.format(self._code))
        if response.status_code == 200: # status 200 oznacza, że
strona odpowiedziała poprawnie, w przeciwnieństwie np. do 404
            self.log_info("Data downloaded in {}
sec".format(int((datetime.datetime.utcnow() - start).seconds)))
            return response
        self.log_warning("Attempt {} failed".format(retry + 1))

def _get_rows_from_response(self, response, last_date):
    rows = response.text.replace("\n", "").split("<tt>",
1) [1].split("</tt>") [0].split("<br>")[:-1] # rozbicie zebranych informacji
ze strony na kawałki wyglądające np.: "FW8705>APRS,TCPXX*,qAX,CWOP-
5:@241435z5005.23N/01832.39E_000/000g000t076r000p000P000h80b10175L016.DsWLL
"

    to_insert = []
    for row in reversed(rows):
        measurement = self._parser.to_measurement(row) # parsowanie
surowych danych ze strony na to co jest wymagane
        date = Date(measurement.year, measurement.month,
measurement.day, measurement.hour, measurement.minute)
        if last_date is not None and not date > last_date: #
zakończenie parsowania, dane są w bazie
            break
        to_insert.append(measurement)
    return to_insert

def _get_last_date(self):
    last_measurements = [Measurement(m) for m in
self._measurements_db.select_from_yesterday(self._code)]
    if len(last_measurements) == 0:
        return None
    last_measurement = max(
        last_measurements, key=lambda x: Date(x.year, x.month, x.day,
x.hour, x.minute).to_datetime())
    return Date(
        last_measurement.year, last_measurement.month,
last_measurement.day, last_measurement.hour,
last_measurement.minute)

```

#### 10.4.2. Kod nr 2 – date.

```

# -*- coding: utf-8 -*-

import datetime

from common.utils.logable import Logable

class Date(Logable): # ta klasa reprezentuje datę w zaokrągleniu do minuty
- taka forma daty w tym przypadku jest wygodna w wielu miejscach

    def __init__(self, year, month, day, hour, minute):
        self.year = year
        self.month = month

```

```

        self.day = day
        self.hour = hour
        self.minute = minute

    @staticmethod
    def from_text(text):
        now = datetime.datetime.utcnow()
        day = int(text[:2])
        hour = int(text[2:4])
        minute = int(text[4:])
        if day == now.day:
            return Date(now.year, now.month, day, hour, minute)
        yesterday = now - datetime.timedelta(days=1)
        if day == yesterday.day:
            return Date(yesterday.year, yesterday.month, yesterday.day,
hour, minute)
        return None

    @staticmethod
    def day_to_number(year, month, day):
        return year * 10 ** 4 + month * 10 ** 2 + day

    def to_datetime(self):
        return datetime.datetime(self.year, self.month, self.day,
self.hour, self.minute, 0, 0)

    def __gt__(self, other):
        number = self.year * 10 ** 8 + self.month * 10 ** 6 + self.day * 10
** 4 + self.hour * 10 ** 2 + self.minute
        other_number = (
            other.year * 10 ** 8 + other.month * 10 ** 6 + other.day * 10
** 4 + other.hour * 10 ** 2 + other.minute)
        return number > other_number

```

### 10.4.3. Kod nr 3 – parser.

```

# -*- coding: utf-8 -*-

import re

from common.drivers.measurements import Measurement
from common.utils.date import Date
from common.utils.logable import Logable

class Parser(Logable):

    BASIC_REGEX = r"^(.*)&gt;(.*)@(\d{6})z(. *N)\/(.*?E)(.*)$"
    WIND_ANGLE_REGEX = r"_(\d{3})"
    WIND_REGEX = r"\/(\d{3})"
    MAX_WIND_REGEX = r"g(\d{3})"
    TEMP_REGEX = r"t(\d{3})"
    RAIN_H_REGEX = r"r(\d{3})"
    RAIN_D_REGEX = r"p(\d{3})"
    RAIN_M_REGEX = r"P(\d{3})"
    HUMIDITY_REGEX = r"h(\d{2})"
    PRESSURE_REGEX = r"b(\d{5})"
    LIGHT_REGEX = r"L(\d{3})"
    PROGRAM1_REGEX = r"\.(.*)$"
    PROGRAM2_REGEX = r"e(.*)$"

```

```

    @staticmethod
    def mph_to_mps(mph): # ta oraz dwie następane funkcje pobieraja wartosc
i konwertuja ja zgodnie z jednostkami jakie sa wymagane
        return round(mph * 0.44704, 2)

    @staticmethod
    def inch_to_mm(inch):
        return round(inch * 0.254, 2)

    @staticmethod
    def fahrenheit_to_celcius(fahrenheit):
        return round((fahrenheit - 32) * 5 / 9, 2)

    def _valid_wind_angle(self, angle): # ta oraz kazda z funkcji ponizej
zaczynajacych sie od valid, pobieraja wartosc, sprawdzaja czy mieści się
w podanych limitach i jezeli nie to zwracaja "None", czyli w bazie widnieje
puste miejsce
        if 0 <= angle <= 360:
            return angle
        self.log_warning("Incorrect {} value: {}".format("kierunek_wiatru",
angle))
        return None

    def _valid_wind_speed(self, wind_speed):
        if 0 <= wind_speed <= 180:
            return wind_speed
        self.log_warning("Incorrect {} value: {}".format("predkosc_wiatru",
wind_speed))
        return None

    def _valid_temperature(self, temperature):
        if -55 <= temperature <= 55:
            return temperature
        self.log_warning("Incorrect {} value: {}".format("temperatura",
temperature))
        return None

    def _valid_humidity(self, percent):
        if 0 <= percent <= 100:
            return percent
        self.log_warning("Incorrect {} value: {}".format("wilgotnosc",
percent))
        return None

    def _valid_pressure(self, pressure):
        if 568 <= pressure <= 1100:
            return pressure
        self.log_warning("Incorrect {} value: {}".format("cisnienie",
pressure))
        return None

    def _valid_light(self, light):
        if light is None or 0 <= light <= 1200:
            return light
        self.log_warning("Incorrect {} value:
{}".format("promieniowanie_sloneczne", light))
        return None

    def to_measurement(self, text): # funkcja przekształcająca surowe dane
ze strony na dane które można umieścić w bazie

```

```

        matched = re.match(self.BASIC_REGEX, text) # sprawdzanie czy dane
na strony wyglądają tak jak powinny
        if matched is None: # jeżeli dane nie wyglądają tak jak
założyliśmy to zwracany jest przedstawiony błąd
            self.log_error("Data don't match any pattern")
            return None
        date = Date.from_text(matched.group(3))
        data = matched.group(6)
        light = int(re.search(self.LIGHT_REGEX, data).group(1)) if
re.search(self.LIGHT_REGEX, data) else None
        program_match = re.search(self.PROGRAM1_REGEX, data)
        if program_match is None:
            program_match = re.search(self.PROGRAM2_REGEX, data)
        program = program_match.group(1) if program_match else None
        return Measurement.create(
            day_number=Date.day_to_number(date.year, date.month, date.day),
            code=matched.group(1),
            year=date.year,
            month=date.month,
            day=date.day,
            hour=date.hour,
            minute=date.minute,
            lat=matched.group(4),
            long=matched.group(5),

wind_angle=self._valid_wind_angle(int(re.search(self.WIND_ANGLE_REGEX,
data).group(1))),

wind=self._valid_wind_speed(self.mph_to_mps(float(re.search(self.WIND_REGEX
, data).group(1)))),

max_wind=self._valid_wind_speed(self.mph_to_mps(float(re.search(self.MAX_WI
ND_REGEX, data).group(1)))),

temp=self._valid_temperature(self.fahrenheit_to_celcius(float(re.search(sel
f.TEMP_REGEX, data).group(1))),
            rain_h=self.inch_to_mm(float(re.search(self.RAIN_H_REGEX,
data).group(1))),
            rain_d=self.inch_to_mm(float(re.search(self.RAIN_D_REGEX,
data).group(1))),
            rain_m=self.inch_to_mm(float(re.search(self.RAIN_M_REGEX,
data).group(1))),

humidity=self._valid_humidity(int(re.search(self.HUMIDITY_REGEX,
data).group(1))),

pressure=self._valid_pressure(round(float(int(re.search(self.PRESSURE_REGEX
, data).group(1)) / 10), 1)),
            light=self._valid_light(light),
            program=program
        ) # tworzony jest obiekt, który nadaje się do umieszczenia w bazie
z uwzględnieniem ograniczeń np. "kierunek wiatru"

```