

# SPOSOBY POMIARU NATĘŻENIA DESZCZU NA POTRZEBY PROJEKTOWANIA I EKSPLOATACJI SYSTEMÓW ODWODNIENIA TERENÓW ZURBANIZOWANYCH

**Paweł LICZNAR<sup>1)</sup>, Janusz ŁOMOTOWSKI<sup>1)</sup>, Marian ROJEK<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu

<sup>2)</sup> Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Instytut Ochrony i Kształtowania Środowiska

*Słowa kluczowe: miejskie systemy odwodnienia, monitoring, natężenie deszczu, pomiar*

## Streszczenie

Pomiary natężenia deszczu są podstawowym i niezbędnym elementem w procesie projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia terenów zurbanizowanych. Przestrzenne pomiary chwilowych wartości natężenia deszczu umożliwiają monitoring i sterowanie odpływem wód deszczowych. W pracy prezentowane i dyskutowane są różne techniki pomiaru natężenia deszczu do tych celów. Ponadto opisano budowę i funkcjonowanie nowego typu elektronicznego deszczomierza wagowego przeznaczonego szczególnie do pomiarów natężenia deszczu na potrzeby projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia.

## WSTĘP

Opady atmosferyczne są zjawiskiem nieciągłym i zmiennym zarówno w czasie, jak i przestrzeni. Zmienność ta przekłada się bezpośrednio na bardzo duże zróżnicowanie przepływów obserwowanych podczas pracy miejskich systemów odwodnienia. Efektem końcowym tego jest znaczny koszt budowy i eksploatacji systemów, służących zarówno do odprowadzania, jak i oczyszczania wód opadowych [BŁASZCZYK, ROMAN, STAMATELLO, 1974]. Jednocześnie projektowanie tego typu

---

Adres do korespondencji: dr inż. P. Licznar, Akademia Rolnicza, Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław; tel. +48 (71) 320-55-26, e-mail: licznarp@ozi.ar.wroc.pl

systemów to niełatwe zadanie, gdyż projektant napotyka znaczne utrudnienia już na etapie wstępnym, czyli ustalania obciążenia układu. Niezbędne do tego są wiarygodne lokalne serie pomiarowe natężenia deszczu oraz ich poprawne opracowanie. Tak więc doskonalenie warsztatu badawczego w zakresie pomiarów natężenia opadów to właściwy krok w celu doskonalenia zarówno projektowania, jak i eksploatacji miejskich systemów odwodnienia.

W ostatnich latach eksploatacja istniejących już miejskich systemów odwodnienia cieszy się rosnącym zainteresowaniem. Coraz większą uwagę projektanci i użytkownicy zwracają na ukryte możliwości retencjonowania wód opadowych w obrębie samego systemu kanalizacji przez odpowiednie sterowanie odpływem z niego. Wykorzystanie tego, w pewnym sensie, „darmowego” zapasu retencji, musi opierać się z jednej strony na bardzo dobrym, bieżącym śledzeniu pracy całego systemu w trybie on-line, z drugiej na analizie stale dopływających, bieżących i precyzyjnych informacji o zmianach natężenia opadów na całym obszarze odwadnianej zlewni. Ten monitoring natężenia opadów jest zwykle połączony z elementem prognozowania krótkoterminowego, dalszego narastania fali spływu powierzchniowego w poszczególnych fragmentach zlewni, co stanowi łącznie narzędzie efektywnego sterowania i podejmowania decyzji przez użytkownika sieci. Takie systemy, dosyć powszechnie już wdrażane za granicą, noszą nazwę systemów RTC (ang. „Real Time Control”), czyli sterowania w czasie rzeczywistym.

Mając na uwadze sygnalizowane powyżej problemy związane z pozyskiwaniem danych opadowych do realizacji zadań w zakresie projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia, szczególnie potrzebę przygotowania krajowego systemu monitoringu natężenia deszczu do przyszłej budowy systemów RTC, przeprowadzono studia literaturowe i podjęto prace badawcze, zmierzające w dwóch kierunkach. Pierwszym z nich był przegląd obecnego stanu techniki w zakresie pomiarów natężenia opadów deszczu na potrzeby projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia. Drugi natomiast to prezentacja konstrukcji oraz przykładowych wyników uzyskanych za pomocą prototypowego pluwiointensometru wagowego, przydatnego przede wszystkim w projektowaniu i eksploatacji systemów odwodnienia, w tym budowie sieci obserwacyjnej systemu RTC.

### POMIARY NATĘŻENIA DESZCZU W SYSTEMACH RTC

Natężenie deszczu  $i$  w procesie projektowania systemów odwodnienia obszarów miejskich i powierzchni komunikacyjnych opisuje się jako funkcję czasu trwania  $t$ , prawdopodobieństwa występowania  $p$  i zasięgu opadu  $F$ :

$$i = f(t, p, F) \quad (1)$$

Jednakże z uwagi na słabą znajomość zależności między natężeniem i zasięgiem deszczu ostatni czynnik zwykle jest pomijany [BŁASZCZYK, ROMAN, STAMATELLO, 1974]. Natężenie deszczu, wykorzystywane w projektowaniu, przyjmuje się zatem jako niezależne od miejsca położenia w odwadnianej zlewni, a jego wartość jest uwarunkowana statystyczną zmiennością jedynie w skali czasu.

Całkowicie odmienna filozofia stosowana jest w systemach RTC, w których rozpoznanie przestrzennej zmienności opadów, a więc opis całego pola opadowego, jest bazą do optymalizacji wykorzystania możliwości retencjonowania wód opadowych w systemie rowów, kanałów i zbiorników samego systemu. Dlatego też w tych systemach istnieje potrzeba pomiarów natężenia deszczu na terenie całej zlewni, prowadzonych jednocześnie w czasie rzeczywistym. Jest to zwykle realizowane przez rozpoznanie chwilowych natężeń deszczu na siatce punktów obserwacyjnych rozmieszczonych na całym terenie zlewni.

Najczęściej spotykana forma realizacji takiej sieci to pomiary wykonywane za pomocą deszczomierzy (zwykle elektroniczne deszczomierze korytkowo-wywrotne, ang. „tipping bucket raingauges”). Zasada ich działania opiera się na zliczaniu impulsów elektrycznych powstających podczas opadania korytek wypełnionych przez zgromadzoną na lejku wlotowym wodę z deszczu. Wspomniane impulsy elektryczne mogą być w szybki i prosty sposób transmitowane, nawet siecią kablową, do centrów sterowania systemów RTC i tam dalej przetwarzane.

Stosowanie w systemach RTC sieci deszczomierzy korytkowo-wywrotnych, oprócz wspomnianej prostoty realizacji układu, ma także pewne mankamenty. Wynikają one nie tylko z budowy samych przyrządów, co będzie przedmiotem bardziej szczegółowej dyskusji w dalszej części artykułu, ale również z konieczności określenia niezbędnej gęstości instalacji przyrządów pomiarowych. Niestety, wytyczne w tym zakresie zawarte w literaturze nie są spójne, co więcej, opracowano je na podstawie wyników badań z obszarów o całkiem odmiennych warunkach klimatycznych niż w Polsce.

Na przykład w Australii ustalono, że w relatywnie płaskiej zlewni miejskiej jeden deszczomierz powinien być instalowany na każde  $4 \text{ km}^2$  zlewni (plus jeden dodatkowy). Jednocześnie MAHEEPALA, TAKYI i PERERA [2001] zalecali użycie deszczomierzy o objętości korytka pomiarowego, odpowiadającego  $0,2 \text{ mm}$  warstwy opadu, i ich instalowanie, z uwagi na potrzebę ochrony przyrządów przed zniszczeniem, w miejscach trudno dostępnych, takich jak dachy budynków. W warunkach Szwajcarii EICHER i KREJCI [1996] sugerowali konieczność jeszcze większego zagęszczenia deszczomierzy na potrzeby realizacji systemów RTC, tj. jeden deszczomierz na  $1\text{--}4 \text{ km}^2$ . W krajach skandynawskich stosuje się natomiast znacznie mniejsze gęstości sieci deszczomierzy. Na przykład w Helsinborgu w Szwecji, na potrzeby dynamicznego, bieżącego modelowania odpływu wód opadowych ze zlewni o obszarze ok.  $50 \text{ km}^2$ , wykorzystywane są dane z 8 deszczomierzy, z których jedynie 3 są połączone bezpośrednio z komputerowym programem sterującym [HERNEBRING i in., 2001]. Natomiast w Danii do projektowania i analizy pracy

systemów kanalizacji deszczowej na terenach miejskich wykorzystuje się dane z sieci 70 deszczomierzy korytkowo-wywrotnych, rozmieszczonych na terenie całego kraju [JØRGENSEN i in., 1998; MIKKELSEN i in., 1998]. Wydaje się, że w kontekście przyszłej budowy polskich systemów RTC warto sięgnąć do doświadczeń z sąsiednich Czech. Przeprowadzone tam w latach 1995–1997 badania, mające na celu opracowanie zintegrowanego systemu zarządzania wodą i ściekami w Příbramie oraz wstępnego projektu systemu odwodnienia dla Pragi, wykazały z jednej strony brak potrzeby dużej gęstości deszczomierzy w przypadku długoterminowych symulacji działania układu, a z drugiej – konieczność pozyskiwania informacji z sieci o dużo większej gęstości do prawidłowego symulowania i monitorowania pracy systemu kanalizacji deszczowej w odniesieniu do jednorazowego opadu [KREJCIK i in., 1998].

Alternatywą dla stosowania w systemach RTC sieci deszczomierzy jest wykorzystywanie danych o opadach z radarów meteorologicznych. Liczne badania w tym zakresie przeprowadzono na przykład w sąsiednich Niemczech. PFISTER i CASSAR [1999] wskazywali na pozytywne aspekty stosowania danych z radaru opadowego o rozdzielczości  $0,5 \times 0,5$  km w celu sterowania odpływem na terenie miast Gelsenkirchen-Buer, Hassel i Herten. JOHANN i VERWORN [1997] porównali przydatność danych z radaru typu X-band o rozdzielczości  $2 \times 2$  km i czasie skanowania (obrót o  $360^\circ$ ) – 14 minut, z bardziej precyzyjnymi danymi, z radaru o rozdzielczości  $1 \times 1$  km i czasie skanowania (obrót o  $360^\circ$ ) – 2 minuty, do kontroli odpływu z małych zlewni miejskich w czasie rzeczywistym. W Nancy we Francji dane z radarowego monitoringu opadów atmosferycznych od 1994 r. są podstawą pracy centralnego systemu zarządzania technicznego sieci kanalizacji deszczowej CTM (ang. „Centralized Technical Management”) [FAURE, AUCHET, 1999].

Wykorzystanie danych z obserwacji radarowych w systemach RTC nie jest jednak rozwiązaniem idealnym. NIEMCZYNOWICZ i BENGTTSSON [1996] twierdzą, że mała dokładność radarowych pomiarów natężenia deszczu pozostaje w sprzeczności z rygorystycznymi wymaganiami co do przestrzennej i czasowej rozdzielczości prowadzenia monitoringu zjawisk opadowych w systemach RTC. CLUCKIE, LANE i YUAN [1999] wskazywali ponadto na ograniczenia poprawności pomiarów natężenia opadów przez radary pogodowe, co wynika z wysokości promieni radaru nad poziomem gruntu w związku z występowaniem przeszkód terenowych.

W światowych aplikacjach systemów RTC znane są także rozwiązania hybrydowe w zakresie pomiarów opadów atmosferycznych, polegające na łączeniu wspomnianych sieci deszczomierzy z radarami. Jak podają CLUCKIE, LANE i YUAN [1999], w Bolton w Anglii system RTC o nazwie RHINOS (ang. „Real-time urban Hydrological Infrastructure and Output modelling Strategy”) bazuje na danych z systemu radarowego MARS (ang. „Multiple Attribute Radar System”), złożonego z radaru krótkiego zasięgu, typu C-band oraz z pionowo skierowanego radaru VPR (ang. „Vertically Pointing Radar”) typu X-band oraz sieci deszczomierzy wspomagających. ROUX, GUILLON i COMBLEZ [1995] w Saint-Denis koło Paryża

wykorzystali dane z 3 pluwiometrów oraz z radaru typu RODIN do symulacji serii czasowych odpływu ze zlewni o obszarze 14 km<sup>2</sup>. MAUL-KÖTTER i EINFALT [1998] dla znacznie większego obszaru w rejonie Westfalii wykorzystywali na potrzeby lokalnego modelowania hydrologicznego dane zarówno z dużej sieci złożonej ze 150 deszczomierzy o ciągłej rejestracji oraz 500 deszczomierzy dobowych, jak i dane pochodzące z radarów pogodowych. Podobnie niedaleko Wenecji na obszarze 10 000 km<sup>2</sup> opracowywane są i wdrażane systemy typu RTC, bazujące na danych z jednego radaru oraz 8 stacji opadowych [BURLANDO, MONTANARI, RANZI, 1996].

## DESZCZOMIERZE CYFROWE

Deszczomierze cyfrowe, zwykle typu pluwiometru korytkowo-wywrotnego, z uwagi na stosunkowo niskie koszty instalacji i użytkowania są podstawowymi sondami opadowymi systemów RTC. Przyrządy te instaluje się w szybko rozbudowywanej sieci automatycznych stacji meteorologicznych [ROJEK, 2001] i często reklamuje jako urządzenia bardzo precyzyjne, w pełni autonomiczne i niewymagające stałego nadzoru. Jednak praktyczne doświadczenia z wykorzystaniem tych przyrządów przeczą pełnej słuszności powyższego twierdzenia. Nie są to bynajmniej doświadczenia jednostkowe, zdobyte przez autorów w trakcie prowadzonych badań porównawczych przyrządów klasycznych i cyfrowych zainstalowanych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii AR Wrocław–Swojec, lecz także spostrzeżenia przedstawiane w krajowej i zagranicznej literaturze fachowej.

ŁABĘDZKI, ROGUSKI i KASPERSKA [2001] w badaniach wybranych parametrów meteorologicznych mierzonych za pomocą stacji automatycznych i metodami tradycyjnymi w dolinie Noteci i w Bydgoszczy notowali pewne różnice opadów, które jednak okazały się nieistotne ze względu na analizę sum dobowych. Badania te potwierdzają wyniki FILIPIAKA [2001], który na podstawie badań metodycznych na stacjach Oddziału Morskiego IMGW w Gdyni wykazał także dużą zgodność sum opadów atmosferycznych mierzonych za pomocą deszczomierza Hellmana, pluwiografu pływakowego i deszczomierza cyfrowego o rozdzielczości 2 cm<sup>3</sup> (0,1 mm), szczególnie podczas opadów o średnim i silnym natężeniu. Niemniej, w odniesieniu do opadów o słabym natężeniu, autor ten obserwował najmniejszą dokładność zapisów deszczomierza cyfrowego. Źródeł niedokładności przyrządu cyfrowego upatrywał on zarówno w przyczynach technicznych (np. źle wycechowany czujnik, jego zatkanie lub sposób odczytu danych), jak i w błędach systematycznych, spowodowanych zarówno konstrukcją, jak i sposobem pomiaru.

W literaturze światowej podkreśla się problem kwantyzacji opadu na porcje o określonej objętości, co powoduje, że zarówno pomiar, jak i jego rejestracja w pluwiometrach korytkowo-wywrotnych są nieciągłe. Jak podaje FRANKHAUSER [1997; 1998], w deszczomierzach tego typu, zarówno czasowa rozdzielczość po-

miaru, jak i objętość wody akumulowanej między dwoma następującymi po sobie wychyleniami korytek, zależą od natężenia deszczu, a efektywna warstwa opadu  $h$  skumulowana podczas kroku czasowego  $\Delta t$ , wynosi:

$$h = i\Delta t = \frac{h_o\Delta t}{\Delta t - t_e} = h_o + t_e(i) \quad (2)$$

gdzie:

- $i$  – średnie natężenie deszczu w czasie między wychyleniami korytek,  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ;
- $h_o$  – nominalna warstwa opadu wypełniająca całe korytko, mm;
- $t_e$  – czas wychylenia wypełnionego korytka do położenia środkowego  $s$ , kiedy stycznik (kontaktron) rejestruje impuls elektryczny; czas ten zależy od objętości korytka i zmniejsza się wraz ze zwiększaniem natężenia opadu [FRANKHAUSER, 1997].

FRANKHAUSER [1997] oraz JØRGENSEN i in. [1998] wskazywali także, że podczas stosowania omawianych pluwiometrów nie można precyzyjnie określić początku i końca jednorazowego opadu. Dzieje się tak, gdyż rzeczywisty początek i koniec opadu nie odpowiadają dokładnie pierwszemu i ostatniemu wychyleniu korytka. Korytko może być bowiem częściowo wypełnione po uprzednim opadzie w momencie rozpoczęcia się opadu nowego deszczu. Może także zatrzymać, bez wychylenia się, pewną porcję końcową wody po zakończeniu opadu i zmagazynować ją do następnego opadu. JØRGENSEN i in. [1998] szczegółowo dyskutowali ponadto liczne problemy dotyczące hydrauliki przewodów dostarczających wodę opadową do korytek, które często blokują się lub przytykają. Ponadto BERGMANN i in. [2001] wykazali, że podczas stosowania pluwiometrów korytkowo-wywrotnych, ze względu na starzenie się materiału, na ogół znacznie zmniejsza się dokładność otrzymywanych wyników, co stwarza konieczność okresowej kalibracji przyrządów i wykorzystywania krzywych kalibracji do korekty otrzymywanych rejestracji.

## DESZCZOMIERZE WAGOWE

Wymienione wcześniej wady pluwiometrów korytkowo-wywrotnych są impulsem do stosowania deszczomierzy nowego typu, w których do określania przyrostu warstwy deszczu wykorzystuje się metodę pośrednią, polegającą na pomiarze zmian masy gromadzącej się wody opadowej. Z danych WMO (World Meteorological Organization) [2001] wynika, że w służbie meteorologicznej na całym świecie powoli coraz powszechniej stosuje się deszczomierze wagowe, podczas gdy zakres stosowania klasycznych przyrządów w ostatnich latach utrzymuje się na niemal stałym poziomie. Bezpośrednim przykładem rosnącego zainteresowania

deszczomierzami wagowymi może być szeroko zakrojony program przeprowadzonych w USA 18-miesięcznych testów, w których porównywano deszczomierze wagowe z klasycznymi. Badania te wykazały przydatność testowanych przyrządów w sieci tamtejszego krajowego systemu pomiaru opadów atmosferycznych [TUMBUSCH, 2003].

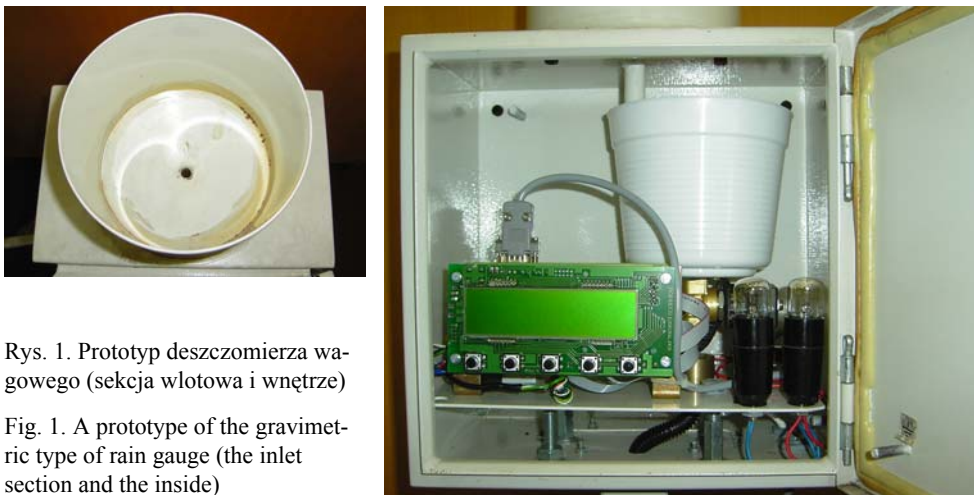
Technika pomiaru natężenia opadu za pomocą pośredniej metody wagowej jest obecnie rozwijana i testowana przez wiele zespołów badawczych. Na przykład w Sassari na Sardynii opracowano ciekawej konstrukcji pluwiometr wagowy, wyposażony w specjalny system opróżniający zbiornik wewnętrzny. Przyrząd ten cechuje się dokładnością pomiaru wynoszącą  $\pm 0,03 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  oraz rozdzielczością  $0,03 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . W wyniku prawie rocznego testowania go w terenie uzyskano zadowalające rezultaty [BATTISTA, BENINCASA, FASANO, 1991; FASANO, MATE-RASSI, ZARA, 1999].

Komersyjne, nieliczne jeszcze wersje deszczomierzy wagowych, mają zwykle uproszczoną konstrukcję w stosunku do wcześniej wspomnianego przyrządu. Są one często całkowicie pozbawione systemu odprowadzania wody opadowej gromadzącej się w zbiorniku zbiorczym lub też jedynie wyposażone w prosty system syfonowy. Pomiar masy gromadzącej się wody opadowej jest wykonywany bądź przez elektroniczny układ tensometryczny, analogiczny do spotykanego w wagach elektronicznych, bądź też przez system wykorzystujący enkodery optyczne.

## PROTOTYPOWY PLUWIOINTENSOMETR WAGOWY

Zarysowany stan badań światowych nad budową systemów RTC i tendencja do stosowania w nich pluwiometrów wagowych dały impuls do skonstruowania w Zakładzie Techniki Sanitarnej Wsi Instytutu Budownictwa i Architektury Krajobrazu AR Wrocław prototypu deszczomierza wagowego, przeznaczonego specjalnie na potrzeby projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia.

Podstawowe elementy budowy prototypowego deszczomierza to: belecza z naklejonym mostkiem tensometrycznym, zbiornik wewnętrzny na wodę, elektrozawór, mikroprocesorowy układ sterujący, moduł rejestracji i przetwarzania danych oraz termostat z grzałką (rys. 1). Podczas deszczu woda gromadzi się w pierścieniu o powierzchni wlotowej  $200 \text{ cm}^2$ , analogicznej jak w klasycznym deszczomierzu Hellmana. Stąd wpływa przez lejek do zbiornika wewnętrznego, spoczywającego na belecze z nalepionym mostkiem tensometrycznym, której drugi koniec jest przytwierdzony do obudowy. Mostek tensometryczny umożliwia ciągłą rejestrację zmian masy wody opadowej gromadzonej w zbiorniku. Jednocześnie jest on połączony z mikroprocesorowym układem sterującym, znajdującym się w obudowie. Układ ten otwiera elektrozawór odpływowy, gdy zbiornik wewnętrzny zawiera zbyt dużo wody opadowej. Elektrozawór znajduje się w dolnej części zbiornika, po jego otwarciu woda grawitacyjnie wypływa do lejka wylewki, skąd



Rys. 1. Prototyp deszczomierza wagowego (sekcja wlotowa i wnętrze)

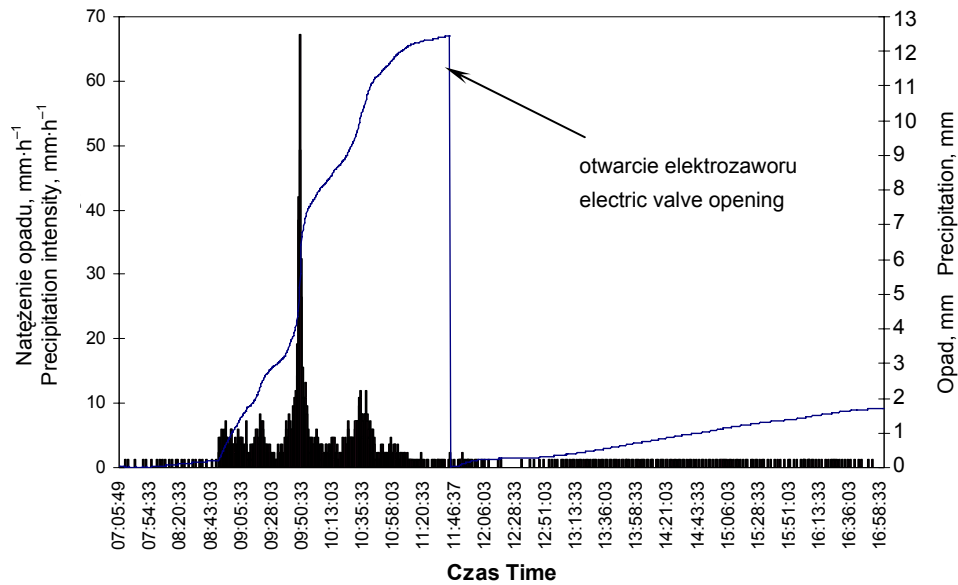
Fig. 1. A prototype of the gravimetric type of rain gauge (the inlet section and the inside)

elastycznym przewodem jest odprowadzana poza obudowę przyrządu. Po opróżnieniu zbiornika układ sterujący zamyka ponownie elektrozawór i pomiar jest wznawiany. Elementem dodatkowym wyposażenia przyrządu to zainstalowany w bliskim sąsiedztwie elektrozaworu termostat z grzałką. Chroni on elektrozawór przed zamarznięciem w razie nagłego spadku temperatury powietrza.

Wewnętrzny zbiornik na wodę opadową ma pojemność  $1,2 \text{ dm}^3$ , a czujnik tensometryczny, na którym spoczywa, odczytuje jego masę z rozdzielczością  $0,1 \text{ g}$ . Odczyty masy wody opadowej deponowanej w zbiorniku podczas deszczu, są wykonywane cyklicznie. Dobór czasu cyklu, czyli czasu między kolejnymi pomiarami, zależy od użytkownika, minimalnie wynosi 10 sekund. Rolę modułu rejestracji, współpracującego z opisywanym prototypem, pełni komputer PC z programem działającym w systemie operacyjnym DOS. Rejestruje on zmiany masy wody opadowej w czasie, po uprzednim przeliczeniu na odpowiadające im zmiany warstwy opadu.

Prototyp deszczomierza pracował przez cały okres obserwacyjny 2004 r. na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym w centrum Wrocławia. Wyniki rejestracji w tym okresie były ogólnie zadowalające. Przykład zapisu opadu deszczu z 9 lipca 2004 r. (30-sekundowy cykl pomiarowy) przedstawiono na rysunku 2.





Rys. 2. Wartości opadu i jego chwilowego natężenia z 9 lipca 2004 r.

Fig. 2. Precipitation and its instant intensity values for the 9<sup>th</sup> July 2004

## PODSUMOWANIE

Przedstawiony w pracy przegląd światowych rozwiązań w zakresie sposobów bieżącego monitoringu i sterowania systemami odwodnienia terenów zurbanizowanych wskazuje jednoznacznie na istotność pomiaru zmian natężenia opadu w czasie i przestrzeni dla skuteczności ich ogólnego funkcjonowania. Pomiar natężenia opadów mogą być wykonywane w tym celu na sieci deszczomierzy. Wymaga to jednak stosowania przyrządów, cechujących się dużą niezawodnością pracy i małym błędem w całym, bardzo szerokim zakresie wartości natężenia chwilowego deszczu. W świetle dotychczas zebranych doświadczeń można stwierdzić, że takie wymogi spełnia opracowany prototyp deszczomierza wagowego. Wiarygodne oraz łatwe w przetwarzaniu dane pomiarowe uzyskane za pomocą tego przyrządu stwarzają możliwości wykorzystania go na potrzeby projektowania i eksploatacji systemów odwodnienia terenów zurbanizowanych.

Praca wykonana w ramach grantu KBN 5 PO6302324: „Nowe sposoby pomiaru i rejestracji opadów atmosferycznych oraz przetwarzania uzyskanych danych”. Jednocześnie dr inż. Paweł Licznar pragnie podziękować Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej za wsparcie jego badań w ramach stypendium krajowego dla młodych naukowców.

## LITERATURA

- BATTISTA P., BENINCASA F., FASANO G., 1991. Progetto e realizzazione di un pluviointensimetro. Misuratore dell'intensità della pioggia. *Ingegneria Agraria* R. 22 nr 1 s. 24–29.
- BERGMANN H., BREINHÄLTER H., HABLE O., KRÄINER R., 2001. Calibration of tipping bucket hyetographs. *Phys. Chem. Earth (C)* vol. 26 no. 10–12 s. 731–736.
- BLĄSZCZYK W., ROMAN M., STAMATELLO H., 1974. *Kanalizacja*. Warszawa: Arkady ss. 524.
- BURLANDO P., MONTANARI A., RANZI R., 1996. Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and linear models. *Atm. Res.* 42 s. 199–216.
- CLUCKIE I. D., LANE A., YUAN J., 1999. Modelling large urban drainage systems in real time. *Wat. Sci. Tech.* vol. 39 no. 4 s. 21–28.
- EICHER C., KREJCI V., 1996. A new rainfall data system for urban hydrology in Switzerland. *Atm. Res.* vol. 42 s. 177–198.
- FASANO G., MATERASSI A., ZARA P., 1999. *Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia*. Firenze: INAPA ss. 110.
- FAURE D., AUCHET P., 1999. Real time weather radar data processing for urban hydrology in Nancy. *Phys. Chem. Earth (B)* vol. 24 no. 8 s. 909–914.
- FILIPIAK J., 2001. Problem doskonałości serii opadowych w aspekcie instalacji cyfrowych deszczomierzy rejestrujących. *Ann. UMCS* vol. 15/16 17 Sect. B s. 145–152.
- FRANKHAUSER R., 1997. Measurement properties of tipping bucket rain gauges and their influence on urban runoff simulation. *Wat. Sci. Tech.* vol. 36 no. 8–9 s. 7–12.
- FRANKHAUSER R., 1998. Influence of systematic errors from tipping bucket rain gauges on recorded rainfall data. *Wat. Sci. Tech.* vol. 37 no. 11 s. 121–129.
- HERNEBRING C., JÖNSSON L. -E., THORÉN U. -B., MØLLER A., 2001. Dynamic online sewer modelling in Helsingborg. [www.dhi.se](http://www.dhi.se).
- JOHANN G., VERWORN H. -R., 1997. Requirements for radar rainfall data in urban catchment modelling and control. *Wat. Sci. Tech.* vol. 36 no. 8–9 s. 13–18.
- JØRGENSEN H. K., ROSENØRN S., MADSEN H., MIKKELSEN P. S., 1998. Quality control of rain data used for urban runoff systems. *Wat. Sci. Tech.* vol. 37 no. 11 s. 113–120.
- KREJCIK J., KREJCI V., MUSILOVÁ S., STRANSKY D., 1998. Rainfall data monitoring and application for urban hydrology in the Czech Republic. *Wat. Sci. Tech.* vol. 37 no. 11 s. 91–96.
- ŁABĘDZKI L., ROGUSKI W., KASPERSKA W., 2001. Ocena pomiarów meteorologicznych prowadzonych stacją automatyczną. *Prz. Nauk. Wydz. Inż. Kształt. Środ.* SGGW z. 21 s. 195–201.
- MAHEEPALA U. K., TAKYI A. K., PERERA B. J. C., 2001. Hydrological data monitoring for urban stormwater drainage systems. *J. Hydr.* 245 s. 32–47.
- MAUL-KÖTTER B., EINFALT TH., 1998. Correction and preparation of continuously measured rain-gauge data: A standard method in North Rhine-Westphalia. *Wat. Sci. Tech.* vol. 37 no. 11 s. 155–162.
- MIKKELSEN P. S., MADSEN H., ARNBJERG-NIELSEN K., JØRGENSEN H. K., ROSBJERG D., HARREMOËS P., 1998. A rationale for using local and regional point rainfall data for design and analysis of urban storm design systems. *Wat. Sci. Tech.* vol. 37 no. 11 s. 7–14.
- NIEMCZYNOWICZ J., BENGTTSSON L., 1996. What practitioners need from theoreticians? *Atm. Res.* 42 s. 5–17.
- PFISTER A., CASSAR A., 1999. Use of benefit of radar rainfall data in an urban real time control project. *Phys. Chem. Earth (B)* vol. 24 no. 8 s. 903–908.
- ROJEK M., 2001. Główne rodzaje automatycznych stacji meteorologicznych. W: *Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowania danych automatycznych stacji meteorologicznych*. Pr. zbior. Red. J. Łomotowski, M.S. Rojek. Zesz. Nauk. AR Wroc. Monogr. 25 nr 428 s. 56–79.

- ROUX C., GUILLON A., COMBLEZ A., 1995. Space-time heterogeneities of rainfalls on runoff over urban catchments. *Wat. Sci. Tech.* vol. 32 no. 1 s. 209–215.
- TUMBUSCH M., 2003. Evaluation of OTT PLUVIO precipitation gauge versus Belfort universal precipitation gage 5–780 for the National Atmospheric Deposition Program. Water-resources investigation report 03–4167. Carson City, Nevada: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey ss. 25.
- WMO, 2001. Commission for Instruments and Methods of Observation Expert Meeting on Rainfall Intensity Measurements. Final report. Bratislava, Slovakia, 23 to 25 April 2001 ss. 16.

*Paweł LICZNAR, Janusz ŁOMOTOWSKI, Marian ROJEK*

**METHODS OF RAINFALL INTENSITY MEASUREMENT FOR THE NEEDS  
OF URBAN DRAINAGE SYSTEMS' DESIGN AND EXPLOITATION**

*Key words: measurement, monitoring, rainfall intensity, urban drainage systems*

**S u m m a r y**

Rainfall intensity measurements are a basic and necessary element at the process of drainage systems' design and exploitation for urban areas. Spatial measurements of the instant rainfall intensity allow for monitoring and controlling storm water outflow. Different techniques of rainfall intensity measurements are presented and discussed in this paper. Moreover, the construction and functioning of a new electronic gravimetric rain-gauge designated especially for rainfall intensity measurements for the purposes of drainage systems' exploitation and design are described.

---

**Recenzenci:**

*prof. dr hab. Czesław Rzekanowski*  
*dr inż. Tomasz Szymczak*

Praca wpłynęła do Redakcji 14.03.2005 r.