

WIESŁAW GADEK

INSTYTUT INŻYNIERII
I GOSPODARKI WODNEJ
POLITECHNIKA KRAKOWSKA

STRUNOWE CZUJNIKI DO POMIARU WYSOKOŚCI OPADU ATMOSFERYCZNEGO I STANU WODY

Streszczenie. Zakład Hydrologii Instytutu Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej opracował kilka typów czujników strunowych służących do zdalnego, automatycznego pomiaru wielkości hydrometeorologicznych w warunkach terenowych. Czujniki te zostały wdrożone do badań w eksperymentalnej zlewni potoku Trzebuńka w automatyczny system zbierania, przetwarzania i archiwizowania danych pomiarowych. Opracowane konstrukcje czujników służących do pomiaru wysokości opadu atmosferycznego i wysokości stanu wody w ciekach posiadają większą rozdzielczość i dokładność pomiarową w stosunku do przyrządów standardowych stosowanych obecnie. Charakteryzują się one dużą niezawodnością pracy, dobrze znoszą warunki terenowe, są proste w konstrukcji i wykonaniu.

1. Wstęp

Rozwój metod matematycznego opisu procesów hydrologicznych oraz stosowanie modeli do symulacji i prognozy odpływu w czasie rzeczywistym wymaga opracowania i wdrożenia automatycznych systemów zbierania, transmisji i przetwarzania danych hydrometeorologicznych. Stosowane obecnie standardowe metody pomiaru są nieprzystosowane do prowadzenia obserwacji o wymaganym stopniu dokładności i dostępności.

Wykorzystując kilkuletnie doświadczenia w dziedzinie badań w zlewniach eksperymentalnych, opracowano w Zakładzie Hydrologii IIGW PK system zbierania, przetwarzania i archiwizowania danych pomiarowych. System ten oparty jest na czujnikach strunowych, rejestratorach oraz na mikrokomputerze PSPD-90 i minikomputerze Mera-400.

Wykorzystanie maszyn cyfrowych do zbierania i analizy danych pomiarowych jest podyktowane koniecznością bezpośredniego przetwarzania

informacji dla potrzeb sterowania obiektami hydrotechnicznymi w ramach złożonych systemów wodno-gospodarczych.

Wykonywana w Polsce aparatura pomiarowa, która mogłaby być zastosowana do automatycznych systemów zbierania danych, jest albo nie przystosowana do pracy w warunkach terenowych, albo bardzo droga, co w znacznym stopniu ogranicza jej powszechne zastosowanie.

W czasie opracowywania systemu przeanalizowano szereg istniejących rozwiązań konstrukcyjnych przyrządów pod względem przydatności do badań w warunkach terenowych. W wyniku tych rozważań przyjęto jako jedną z alternatyw, prowadzenie obserwacji za pomocą czujników strunowych, których podstawową zaletą jest bardzo prosta konstrukcja.

2. Zasada działania czujników strunowych.

Czujniki strunowe składają się z dwóch współpracujących ze sobą elementów: elementu pomiarowego i przetwornika strunowego. W konstrukcji poszczególnych typów czujników strunowych starano się dobrać tak elementy pomiarowe, aby były zbliżone do stosowanych obecnie przyrządów standardowych.

W przetwornikach strunowych wykorzystano jedną z podstawowych własności drgającej swobodnie struny, a mianowicie: zmianę częstotliwości drgań w zależności od zmiany jej napięcia. Równanie na częstotliwość drgającej struny ma postać:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot s}} \quad / 1 /$$

gdzie:

- f - częstotliwość drgań struny [Hz],
- l - długość struny [m],
- ρ - gęstość materiału, z którego wykonana jest struna [kg/m^3],
- s - pole przekroju struny [m^2],
- F - siła napinająca strunę [N].

Można założyć, że przy niewielkich zmianach siły naciągającej strunę parametry charakteryzujące ją, jak: długość, przekrój oraz gęstość, są stałe. W związku z tym równanie /1/ można przedstawić w postaci:

$$f = A \sqrt{F} \quad / 2 /$$

gdzie:

- A - współczynnik integrujący stałe parametry struny.

Aby określić wartości fizyczne mierzonych procesów, należy przekształcić równanie /2/ do postaci:

$$F = \left(\frac{f}{A} \right)^2 \quad / 3 /$$

Siła napinająca strunę jest mierzoną wielkością fizyczną, której wielkość zmienia się pod wpływem zmian otoczenia. Aby czujnik pracował w pełnym obszarze badanej wielkości hydrometeorologicznej, należy strunę wstępnie naprężyć siłą B. Wprowadzając do wzoru /3/ okres drgań struny $T = 1/f$, otrzymujemy ostateczną postać równania:

$$F = \left(\frac{A'}{T} \right)^2 - B \quad / 4 /$$

gdzie:

$$A' = 1/A,$$

B - siła wstępnego naciągu struny [N],

T - okres drgań struny [s].

Parametry A i B w równaniu /4/ określa się dla każdego czujnika na podstawie bezpośrednich pomiarów standardowymi przyrządami.

3. Schematy konstrukcyjne i charakterystyka pomiarowa czujników

Zasada działania dla opracowanych czujników strunowych jest dla obu typów podobna. Metalowa struna jest pobudzana do drgań impulsem elektrycznym. Drgająca struna rozszerza i zwęża linie pola magnetycznego. Zmiany te, zgodnie z prawem Maxwella, wywołują zmienne pole elektryczne. Pobudzenie do drgań struny oraz odbiór częstotliwości odbywa się za pomocą jednego przewodu dwużyłowego łączącego rejestrator z czujnikiem. W oparciu o przetworniki strunowe skonstruowano i przebadano czujniki służące do pomiaru wysokości opadu atmosferycznego i stamu wody.

3.1. Czujnik do pomiaru wysokości opadu atmosferycznego

Na rysunku (1) przedstawiono budowę czujnika służącego do pomiaru wysokości opadu atmosferycznego, który został skonstruowany na bazie standardowego deszczomierza Hellmanna. Wysokość opadu określa się na podstawie pomiaru ciężaru zbiorniczka deszczomierza, w którym gromadzi się woda opadowa.

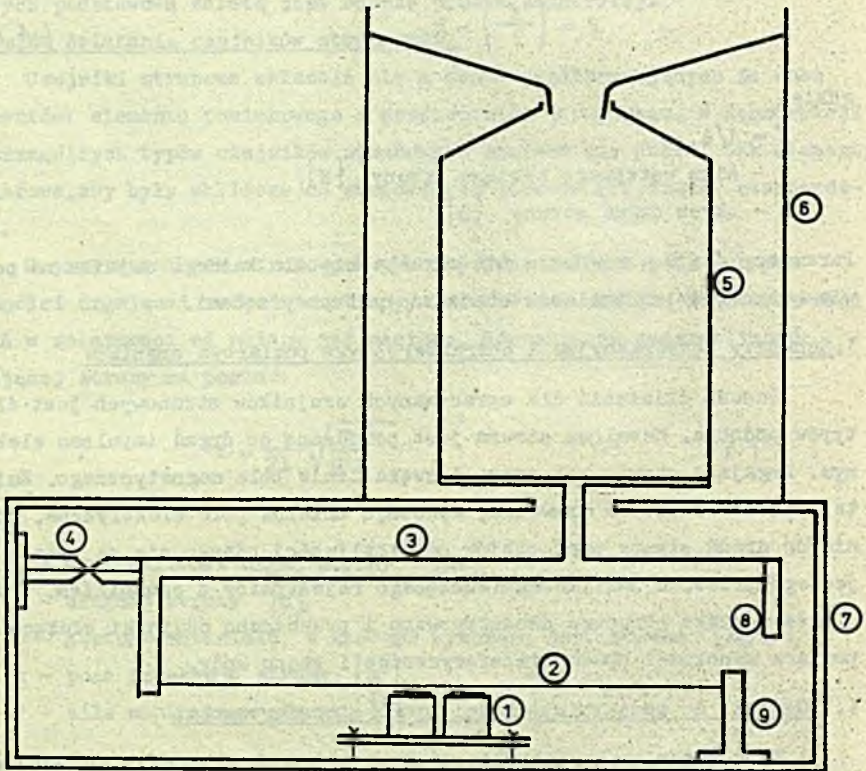
Konstrukcja tego czujnika jest oparta na zasadzie działania wagi strunowej. Mierząc ciężar zbiorniczka, możemy bezpośrednio określić wysokość opadu atmosferycznego wykorzystując równanie:

$$H = \frac{V}{P} = \frac{F}{P \cdot \gamma}$$

/ 5 /

gdzie:

- H - wysokość opadu atmosferycznego [m],
 V - objętość wody w zbiorniczku [m³],
 P - pole powierzchni chwytnej deszczomierza [m²],
 F - ciężar zbiorniczka deszczomierza [N],
 γ - ciężar właściwy wody [N/m³].



Rys.1. Schemat budowy czujnika do pomiaru wysokości opadu.

Oznaczenia na rysunku:

- 1 - elektromagnes,

- 2- struna metalowa,
- 3- ruchome ramię napinające strunę,
- 4- przegub beztarciowy,
- 5- zbiorniczek gromadzący wodę opadową,
- 6- deszczomierz Hellmanna,
- 7- obudowa czujnika,
- 8- wstępne obciążenie struny,
- 9- stałe umocowanie struny.

Zbiorniczek pomiarowy deszczomierza Hellmanna (5) umieszczony jest na ruchomym ramieniu napinającym strunę (2). Ciężar przekazywany jest na strunę poprzez ramię (3) z przekładnią 6:1. Łożysko beztarciowe (4) gwarantuje swobodny ruch ramienia w płaszczyźnie pionowej w zakresie 30° . Elektromagnes (1) umieszczony jest w środku rozpiętej struny w odległości 1.5 mm od niej.

Standardowy deszczomierz Hellmanna posiada powierzchnię chwytną równą 200 cm^2 ; zakładając stały ciężar właściwy wody, 1 mm wysokości opadu waży $20 \cdot 10^{-3} \text{ N}$. Na rysunku (2) przedstawiono zależność, jaką otrzymano na podstawie badań terenowych między wysokością opadu a okresem drgań struny.

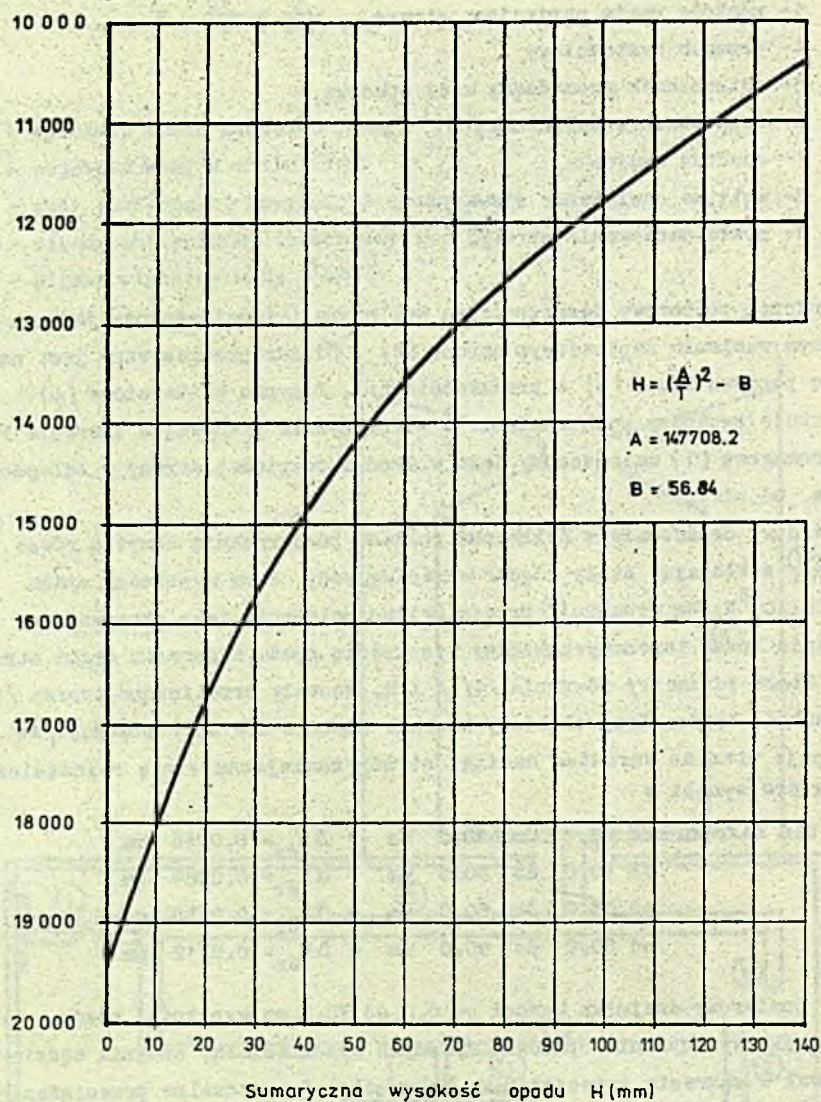
Stałe parametry równania /4/ A i B , zostały przeliczone wzorem /5/ na wysokość opadu. Krzywoliniowy kształt funkcji $H = f(T)$ powoduje, że następuje wraz ze wzrostem naciągu struny zmniejszanie się rozdzielczości, która wynosi :

| | | |
|-------------|--------------------|---------------------------------------|
| dla zakresu | od 0.0 do 10.0 mm | - $\Delta H_{sr} = 0.0066 \text{ mm}$ |
| | od 10.0 do 30.0 mm | - $\Delta H_{sr} = 0.0089 \text{ mm}$ |
| | od 30.0 do 60.0 mm | - $\Delta H_{sr} = 0.0138 \text{ mm}$ |
| | od 60.0 do 90.0 mm | - $\Delta H_{sr} = 0.0212 \text{ mm}$ |

Zakres pomiarowy czujnika wynosi od 0.0 do 70.0 mm wysokości opadu.

W przypadku wystąpienia opadów o wyższych wysokościach, czujnik będzie pracował w zakresie przeciążenia. Maksymalne dopuszczalne przeciążenie wynosi 47 mm. Po przekroczeniu tej wartości czujnik może zmienić swoje stałe parametry. Ma to miejsce w przypadku zastosowania struny wykonanej ze stali niepatentowej.

W celu wyeliminowania sił dynamicznych wywołanych spadającymi kroplami wody z deszczomierza do zbiorniczka, zastosowano tłumik olejowy.

Okres drgań $T \times 10^7$ (s)Rys.2. Zależność wysokości opadu H od okresu drgań struny T .

3.2. Czujnik do pomiaru stanu wody

Przy konstrukcji czujnika do pomiaru stanu wody wykorzystano zależność między wysokością słupa wody a parciem hydrostatycznym:

$$h = \frac{F}{P \cdot \gamma} \quad / 6 /$$

gdzie:

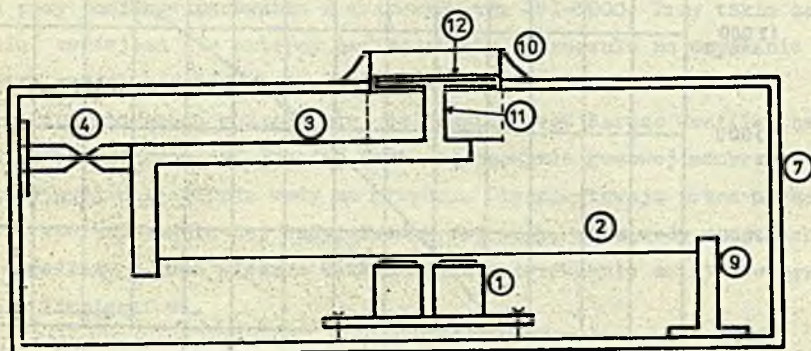
h - wysokość stanu wody [m],

F - parcie hydrostatyczne wody [N],

P - pole powierzchni, na które działa parcie hydrostatyczne [m²],

γ - ciężar właściwy wody [N/m³].

Na rysunku(3) przedstawiono schemat budowy czujnika.



Rys.3. Schemat budowy czujnika do pomiaru stanu wody.

Oznaczenia na rysunku:

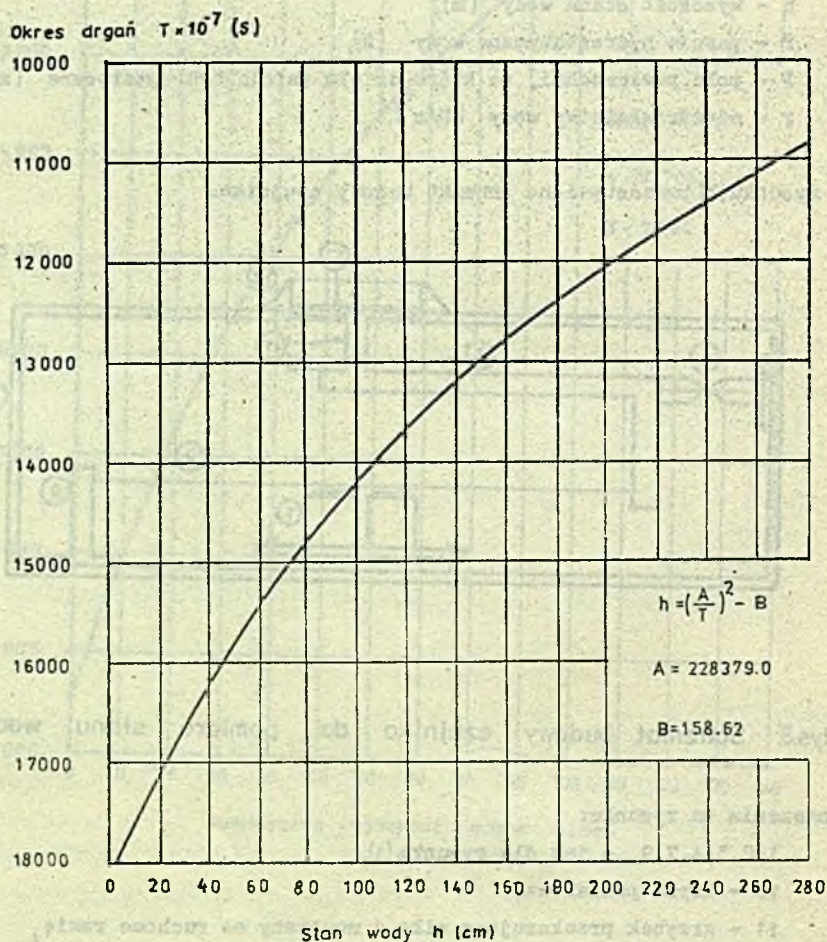
1,2,3,4,7,9 - jak dla rysunku (1),

10 - kryza pomiarowa,

11 - grzybek przekazujący siłę z membrany na ruchome ramię,

12 - membrana gumowa.

Konstrukcja tego czujnika jest również oparta na zasadzie działania wagi strunowej. Zmiany stanu wody napinają gumową membranę (12), która z kolei przekazuje siłę parcia hydrostatycznego na metalowy grzybek (11) przymocowany do ruchomego ramienia (3). Membrana przytwierdzona jest do obudowy



Rys.4. Zależność stanu wody h od okresu drgań struny T

kryzą (10). Wstępny naciąg struny wymuszony jest sprężyną umieszczoną pod grzybkiem.

Na rysunku (4) przedstawiono zależność wysokości stanu wody od okresu drgań struny.

Prezentowany czujnik został opracowany do pomiaru stanu wody dla zakresu od 0.02 do 1.50 m. Średnia rozdzielczość dla poszczególnych zakresów wynosi:

| | | | | | |
|-------------|---------|---------|---|-------------------------|----|
| dla zakresu | od 0.02 | do 0.50 | m | - $\Delta h_{gr} = 0.2$ | mm |
| | od 0.50 | do 1.00 | m | - $\Delta h_{gr} = 0.3$ | mm |
| | od 1.00 | do 1.50 | m | - $\Delta h_{gr} = 0.4$ | mm |

Dopuszczalne jest przeciążenie tego przyrządu o dalsze 85 cm. Stany, których wartość przekroczy 235 cm, mogą uszkodzić czujnik.

Bardzo duża rozdzielczość pomiarowa tego czujnika może być wykorzystana przy pomiarze parowania z ewaporymetrów GGI-3000. Przy takim zastosowaniu, zmniejsza się wstępny naciąg struny, co pozwala na uzyskanie średniej rozdzielczości pomiarowej poniżej 0.1 mm.

W trakcie badań okazało się, że czujnik jest bardzo wrażliwy na zmiany temperatury wody. Powodem jest zastosowanie gumowej membrany przekazującej siłę parcia wody na grzybek. Obecnie trwają prace mające na celu wyeliminowanie tej wady. Pomimo tej wady, stan wody w ciekach jest określany z dużo większą dokładnością w porównaniu ze stosowanymi obecnie limnigrafami.

4. Zakończenie.

Wprowadzenie do pomiarów obu typów czujników pozwoliło na zastosowanie automatycznego systemu zbierania, przetwarzania i archiwizowania danych pomiarowych. Rezultaty osiągnięte dzięki tym dwóm typom czujników, pozwoliły na skrócenie czasu opracowywania wyników pomiarowych i ułatwiły dostęp do informacji o stanie procesu.

Na bazie konstrukcji prezentowanych czujników zostały opracowane i wykonane dalsze prototypy służące do pomiaru: temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, temperatury gruntu. W trakcie opracowywania są czujniki służące do pomiaru promieniowania słonecznego i do określania wysokości osadów / rosometr /.

LITERATURA

- [1] Jankowski J.: Wagi i ważenie wysokiej dokładności. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1982.
- [2] Jankowski J.: Wagi i ważenie w przemyśle i handlu. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.

- [3] Gądek W., Więzik B.: System zbierania i przetwarzania danych hydrometeorologicznych. Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych - Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe, Wrocław, 27 - 29. września 1984 r. Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Zarząd Główny, Oddział Wrocławski.

STRING SENSORS FOR PRECIPITATION HEIGHT AND WATER LEVEL MEASUREMENT

S u m m a r y

In Hydrology Department of Institute of Hydrology and Water Management of Cracow Technical University a few types of string sensors for remotely controlled automatic measurements of hydrometeorological quantities in field conditions have been constructed. The sensors were part of data logging and processing automatic system which was applied to investigations made in Trzebuńka River basin.

Instruments based on the string sensors designed for precipitation height and water level measurements built in the Department, have higher resolution and better accuracy than standard ones recently used. Their other features are high reliability, correct work in field conditions and simplicity of construction.

Струновые датчики для измерения слоя атмосферных осадков и уровня воды

Р е з ю м е

На Кафедре Гидрологии Института Водного Хозяйства в Краковском Политехническом Институте, разработано несколько типов струновых датчиков, предназначенных до автоматического измерения гидрометеорологических величин в природных условиях. Эти датчики использовано в экспериментальном бассейне реки Тжебуньки в автоматической системе собирания и переработки измерительных данных.

Сделанные конструкции датчиков предназначены для измерения слоя атмосферных осадков и уровня воды в реке имеют большую точность измерения, чем стандартные использованные в настоящее время. Эти датчики хорошо работают в природных условиях, имеют удобную конструкцию для изготовления.