

Bogdan DZIADAK*, **Łukasz MAKOWSKI***, **Andrzej KALICKI***,
Andrzej MICHALSKI**, **Zbigniew STAROSZCZYK***,
Monika MACHNIK***, **Michał CIEŻ*****, **Krzysztof ZARASKA*****,
Wojciech GRZESIAK***, **Jarosław MOLENDAAAA**, **Jan WIEJAK******

* Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-
-Pomiarowych, Politechnika Warszawska, Warszawa

** Instytut Systemów Elektronicznych, Wojskowa Akademia Techniczna,
Warszawa

*** Instytut Technologii Elektronowej, Kraków

**** Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW TERYTORIALNIE ROZPROSZONYCH DO MONITORINGU JAKOŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Słowa kluczowe

Bezpieczeństwo ekologiczne, monitorowanie wód, mobilna stacja pomiarowa, zdalne pomiary, otwarte protokoły, akwizycja danych.

Streszczenie

Przedstawiono rozwiązanie techniczne pozwalające na skuteczne monitorowanie i alarmowanie o skażeniach wód powierzchniowych, które może być wykorzystane przez służby zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego, w szczególności dla akwenów stanowiących zbiorniki wody pitnej dla aglomeracji miejskich. Opracowany system obejmuje zarówno środki techniczne służące zbieraniu i gromadzeniu, w centralnej bazie danych systemu, parametrów opisujących stan biochemiczny monitorowanego akwenu, jak również pełną

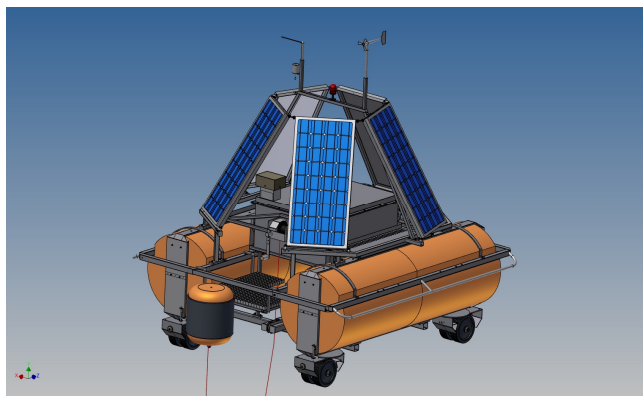
strukturę informatyczną, zapewniającą poprawne działanie systemu i możliwość przekazywania informacji do wszelkich służb zajmujących się szeroko rozumianą ochroną środowiska. Struktura systemu obejmuje sieć stanowisk obserwacyjno-pomiarowych z bezprzewodowym dostępem (radiolinie, GSM, łącza satelitarne) do sieci www, służących do obserwacji stanu chronionego obiektu. Stanowiska są elastycznie konfigurowane i wyposażone w dedykowane inteligentne sensory, pozwalające zbierać dane o otoczeniu z indywidualnie zadawanym odstępem czasu między kolejnymi pomiarami.

Wprowadzenie

Jednym z kluczowych problemów współczesnych technologii bezpieczeństwa ekologicznego jest zapewnienie skutecznego monitoringu zbiorników wodnych w zakresie jakości wód i pojawiającego się zagrożenia skażeniami chemicznymi. Dotychczas problem ten jest rozwiązywany poprzez okresowy pobór próbek wody i laboratoryjne badanie ich jakości. Tego typu podejście jest czasochłonne i uniemożliwia szybkie zidentyfikowanie występującego zagrożenia, szczególnie w zbiornikach stanowiących ujęcia wody pitnej. W związku z powyższym celowe jest umieszczanie w newralgicznych miejscach akwenów automatycznych stacji pomiarowych, które pozwalałyby na bezprzewodowe przesyłanie danych pomiarowych do centrów monitoringu. Niemniej jednak lokalizacja zbiorników wodnych ma swoją specyfikę, polegającą w szczególności na braku na tych terenach infrastruktury technicznej, takiej jak sieci teleinformatyczne czy energetyczne. Dodatkowo rodzaj obiektu monitorowanego (rzeka, jezioro, itp.) sprawia, że nie jest możliwe wytypowanie uniwersalnej metody komunikacji między częścią pomiarową a częścią zarządzającą systemem [1]. W związku z powyższym celem pracy było opracowanie zaawansowanego, otwartego systemu bezprzewodowej sieci monitorowania jakości wód powierzchniowych.

1. Mobilna stacja pomiarowa

Do monitorowania stanu biochemicznego zbiornika wodnego zaprojektowano oraz wykonano specjalistyczne stacje badawcze, wyposażone w inteligentne multisensorowe sondy pomiarowe, system gromadzenia i przetwarzania danych, system telekomunikacyjny zapewniający dwukierunkowe przekazywanie informacji. Zasilanie stacji zapewnione jest poprzez autonomiczny system fotowoltaiczny, wspomagany ogniwem paliwowym, uzupełniającym dopływ energii w przypadku złych warunków pogodowych [4]. Na rys. 1 przedstawiono wygląd stacji pomiarowej, wykonanej w postaci pływającej boi.



Rys. 1. Mobilna stacja pomiarowa

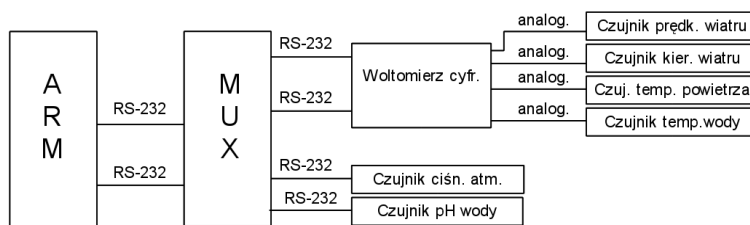
Stanowisko zapewnia stabilne zanurzenie, pozwalające na utrzymanie stałej odległości pomostu, na którym zainstalowana będzie głowica spektrofotometryczna, od lustra wody. Boja posiada szczelną komorę, znajdującą się nad poziomem wody, w której umieszczone są: pojemnik z ogniwem paliwowym, akumulatorem i zbiornikiem paliwa, regulator ładowania, inwerter DC/AC, system nadawczo-odbiorczy, sterownik oraz płyta z układami elektronicznymi obsługującymi zestaw czujników. Moduły fotowoltaiczne zostały rozmieszczone na podstawie pięciokąta i łączą się górnymi krótszymi bokami, są nachylone pod kątem 60° do pomostu, na którym zostały zamocowane. Pomost jest usytuowany na dwóch pływakach, a ich wymiary są tak dobrane, aby zanurzenie przy pełnym obciążeniu było nie mniejsze niż do 50% średnicy pływaków. Dla celów serwisowych boja została wyposażona w system kółek umożliwiających transport na lądzie, stosowne uchwyty dla ułatwienia transportu na wodzie oraz pomosty dla wygodnego dostępu do kaset z elektroniką. W skład stanowiska monitorującego wchodzi ponadto: zestaw czujników (umieszczonych w głowicy zanurzanej w wodzie, z możliwością przemieszczania do 15 m w stosunku do lustra wody), spektrofotometryczna głowica pomiarowa składająca się ze źródła promieniowania UV, systemu optycznego, detektora promieniowania, sterownika elektronicznego, elektronicznego modułu obróbki sygnału pomiarowego, radiowego systemu nadawczo-odbiorczego wraz z anteną oraz dodatkowego zasilacza stabilizowanego, a także stacji pogodowej (umożliwiającej pomiar prędkości i kierunku wiatru, pomiar temperatury i nasłonecznienia).

W tab. 1 przedstawiono zestawienie parametrów monitorowanych przez multisensorową sondę pomiarową, zakresy pomiarowe mierzonych parametrów oraz dokładności pomiaru.

Tabela 1. Wykaz parametrów mierzonych przez sondę multisensorową

Parametr	Jednostka	Maksymalne wartości dopuszczalne wg normy		Zakres pomiarowy		
		Klasa A1	Klasa A3	Minimum (nie więcej niż)	Maksimum (nie mniej niż)	Dokładność (nie gorsza niż)
Temperatura	°C	22	35	-5	50	0,2
pH	pH	6,5–8,5	5,5–9,0	0,2	13,8	0,2
Przewodność	μS/cm	1000	1000	10	100000	1
NH ₄ ⁺	mg/l	0,5	2	2	100	2
Cl ⁻	mg/l	250	250	50	1000	5
Zawiesina	NTU	25	35	5	1000	1
Chlorofil	μg/l			1	400	1
Stężenie substancji ropochodnych	ppm (ekwiwalent ksylenu)	0,05	1,0	0,5	1000	10%

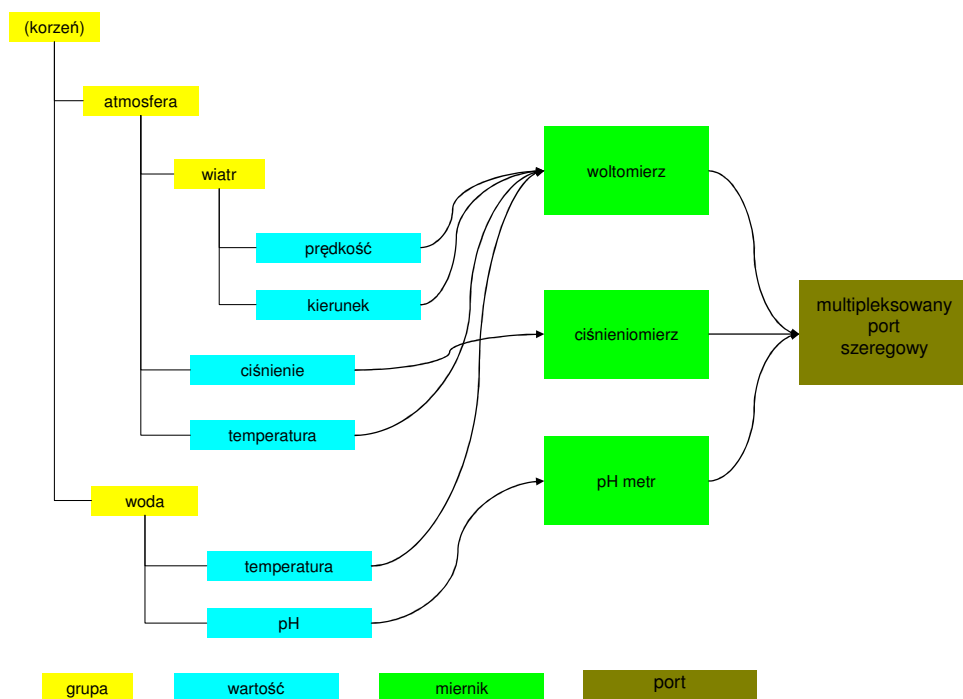
System pomiarowy, którego podstawową strukturę blokową przedstawiono na rys. 2 posiada dwa tory pomiarowe (analogowy i cyfrowy), komunikację z komputerem zarządzającym i połączenia ze strukturą pomiarową. Konstrukcja jest przewidziana jako modułowa i możliwa do powielania w wielu egzemplarzach. Przykładowo system wyposażony jest w 4 czujniki analogowe, podłączone do woltomierza cyfrowego z wyjściem RS-232 oraz 2 czujniki cyfrowe z bezpośrednim wyjściem RS-232. Konfigurację można rozbudować o kolejne sensory w ramach zapotrzebowania wyrażanego przez użytkownika.



Rys. 2. Blokowy schemat struktury pomiarowej stacji

Komunikacja z fizycznymi miernikami odbywa się poprzez port RS232 mikrokomputera ARM z podłączonym sprzętowym multiplekserem (MUX). Zastosowanie multipleksera umożliwia jednoczesną obsługę do ośmiu mierników RS232 z wykorzystaniem jedynie dwóch portów mikrokomputera sterującego: jeden port służy do wyboru urządzenia, podczas gdy drugi port wykorzystywany

jest do komunikacji z wybranym urządzeniem. Sposób podłączenia poszczególnych czujników podyktowany jest uwarunkowaniami sprzętowymi (rodzaj wyjścia), a nie rodzajem mierzonego parametru. W celu zapewnienia zrozumiałego sposobu adresowania mierzonych parametrów, jak też i ukrycia przed użytkownikiem fizycznej budowy systemu pomiarowego, konieczne jest przeprowadzenie translacji pomiędzy fizyczną a logiczną strukturą systemu. Logiczna reprezentacja mierzonych parametrów w formie drzewa przedstawiona jest po lewej stronie na diagramie klas prezentowanym na rys. 3.



Rys. 3. Reprezentacja logiczna systemu

Dla obsługi procesu pomiarowego opracowano program w interpretowanym języku Python, pozwalającym na wykorzystanie współbieżności i wielowątkowości. Wprowadzono również mechanizm wyjątków realizujący obsługę błędów, zapewniający prawidłowe działanie całego systemu, nawet w sytuacji awarii czujnika. W przypadku wystąpienia nieobsługiwanego stanu wyjątkowego zostaje zakończony tylko i wyłącznie wątek z nim związany, a nie cały program. Aby nie dopuścić do sytuacji otrzymywania pozornie dobrych wyników, z wartościami mierzonymi zostały powiązane dodatkowe metadane, takie jak: czas ostatniego pomiaru, niepewność (błąd) pomiarowa czy zakres pomiarowy

miernika. Tak więc, w sytuacjach skrajnych, takich jak: wczytanie wartości poniżej dokładności systemu pomiarowego, przekroczenie zakresu pomiarowego czujnika czy w przypadku awarii samego czujnika, system zareaguje w odpowiedni sposób, wskazując na nieważność zgromadzonych danych.

Wartości mierzone przez czujniki reprezentowane są przez obiekty wartości. Każdy taki obiekt posiada następujące pola:

- `value` – zawiera wartość mierzoną,
- `path` – określa jednoznacznie położenie danego obiektu (ścieżkę) w drzewie wartości
- `timestamp` – określa czas ostatniego pomiaru (czas reprezentowany jest wewnątrz w formacie unixowym – liczba sekund od północy 1970-01-01 czasu GMT),
- `interval` – określa aktualną częstotliwość wykonywania pomiarów (maksymalny odstęp pomiędzy pomiarami w sekundach),
- `defaultInterval` – określa domyślną częstotliwość wykonywania pomiarów (maksymalny odstęp pomiędzy pomiarami w sekundach),
- `valid` – określa, czy dane zawarte w obiekcie są ważne (dane uznawane są za ważne, jeżeli nie nastąpiły błędy w trakcie ostatniego pomiaru oraz od ostatniego pomiaru upłynęło nie więcej niż `interval` sekund).

Podklasą wartości są wartości numeryczne. Poza polami zdefiniowanymi powyżej, obiekty tego typu definiują pola następujące:

- `rawValue` – wartość pomiaru odczytana bezpośrednio z miernika w jednostkach miernika,
- `calibrated` – wartość zmierzona w jednostkach docelowych (wykalibrowana),
- `unit` – nazwa jednostki,
- `minRange`, `maxRange` – minimum i maksimum zakresu pomiarowego (skalibrowanego),
- `inRange` – określa, czy wartość skalibrowana mieści się w zakresie zdefiniowanym przez `minRange` i `maxRange`,
- `error` – bezwzględny błąd pomiaru wartości skalibrowanej, w jej jednostkach.

Inną podklasą wartości jest wartość tekstowa, zawierająca w polu `value` informację tekstową. Dla zobrazowania funkcjonowania systemu pomiarowego przedstawiamy badania z wykorzystaniem wielosensorowej sondy Hydrolab MS5, umożliwiającej montaż dodatkowych sensorów. Sonda dokonywała równoczesnych pomiarów następujących parametrów: temperatury, pH, przewodności, zasolenia, głębokości, zmętnienia oraz nasycenia wody tlenem. Zmierzone dane wysyłane przez sondę są postaci:

Time HHMMSS	Temp °C	pH Units	SpCond mS/cm	Sal ppt	Dep100 meters	TurbSC NTU	LDO% Sat	LDO mg/l	IBatt Volts
135412	23.36	7.16	1.224	0.64	10.58	0.0	27.5	1.93	9.4
135413	23.36	7.16	1.224	0.64	10.58	0.0	27.5	1.93	9.4
135414	23.37	7.16	1.224	0.64	10.56	0.0	27.6	1.93	9.4
135415	23.36	7.16	1.224	0.64	10.58	0.0	27.6	1.94	9.4
135416	23.37	7.16	1.224	0.64	10.57	0.0	27.6	1.94	9.4

W systemie pomiarowym wykorzystano drzewiastą strukturę danych, aby obiekty można było jednoznacznie identyfikować za pomocą ścieżki, zawierającej nazwy kolejnych obiektów, począwszy od korzenia drzewa, przykładowo: `air.wind.speed`. Poniżej przedstawiono przykładowe drzewo danych dla stacji wyposażonej w: analogowe czujniki wartości atmosferycznych (obiekt `air`, którego wartości pochodzą z mierników wirtualnych), wieloparametrową sondę Hydrolab MS5 (obiekt `depth1`), akumulator (w składzie obiektu `sys.power`, zawierającego informacje o zasilaniu stacji).

<code>air.temperature</code>	temperatura powietrza
<code>air.wind.direction</code>	kierunek wiatru
<code>air.wind.speed</code>	prędkość wiatru
<code>air.pressure</code>	ciśnienie atmosferyczne
<code>depth1.DO_percent</code>	głębokość 1 – procentowe nasycenie tlenem
<code>depth1.conductance</code>	głębokość 1 – przewodność
<code>depth1.depth</code>	głębokość 1 – głębokość
<code>depth1.oxygen</code>	głębokość 1 – nasycenie tlenem
<code>depth1.ph</code>	głębokość 1 – pH
<code>depth1.salinity</code>	głębokość 1 – zasolenie
<code>depth1.temperature</code>	głębokość 1 – temperatura
<code>depth1.timestamp</code>	głębokość 1 – sygnatura daty i czasu
<code>depth1.turbidity</code>	głębokość 1 – mętność
<code>sys.power.fc.fuelLevelLow</code>	zapas paliwa dla ogniwa paliwowego
<code>sys.power.fc.outputCurrent</code>	prąd wyjściowy ogniwa
<code>sys.power.fc.state</code>	stan ogniwa
<code>sys.power.fc.mode</code>	tryb pracy ogniwa
<code>sys.power.fc.error</code>	komunikat o błędzie ogniwa
<code>sys.power.batteryVoltage</code>	napięcie na akumulatorze

Powyższe wymagania sprawiły, że zdecydowano się na reprezentację danych w języku XML 1.0. Fragment drzewa danych dla rozważanej konfiguracji przedstawiono poniżej. Korzeń drzewa reprezentowany jest przez obiekt `Root`. Klasa pochodna `Depth` grupuje informacje o parametrach wody zmierzonych na danej głębokości. Pole `level` zawiera informację o głębokości pomiaru.

```
<Root>
  <path/>
```

[pominięto obiekty `air` oraz `sys`]

```

<Depth name="depth1">
  <path>depth1</path>
  <Value name="DO_percent" valid="1">
    <path>depth1.DO_percent</path>
    <interval current="3" default="3"/>
    <timestamp tz="local">2011-10-11T13:06:55</timestamp>
    <unixTimestamp>1318331215</unixTimestamp>
    <calibrated unit="%" minRange="0" maxRange="100" error="1"
inRange="1">27.
    6</calibrated>
    <raw>27.6</raw>
  </Value>

```

[pominięto część obiektów grupy depth1]

```

  <Value name="turbidity" valid="1">
    <path>depth1.turbidity</path>
    <interval current="3" default="3"/>
    <timestamp tz="local">2011-10-11T13:06:55</timestamp>
    <unixTimestamp>1318331215</unixTimestamp>
    <calibrated unit="NTU" minRange="0" maxRange="3000"
error="150" inRange="1
">0.0</calibrated>
    <raw>0.0</raw>
  </Value>
  <level>2</level>
</Depth>
</Root>

```

Wybór języka reprezentacji danych niejako podyktował zastosowanie protokołu komunikacyjnego XML-RPC jako protokołu umożliwiającego kontakt użytkownika z programem. Rozwiązanie takie ma wiele zalet, jak chociażby łatwa rozbudowa w przyszłości przez rozszerzenie zbioru funkcji udostępnianych przez program. Aby wygenerować całe powyższe drzewo, wystarczy użyć polecenia `xml`. Chcąc jednak uzyskać dostęp tylko do części zbioru danych, nie jest konieczne przesyłanie całego dokumentu XML. Uzyskanie reprezentacji XML dowolnego adresowalnego obiektu umożliwia funkcja `xml()`, której parametrem jest ścieżka do obiektu. Wynik działania funkcji dla obiektu `depth1.temperature` przedstawiony jest poniżej.

```

<Value name="temperature" valid="1">
  <path>depth1.temperature</path>
  <interval current="3" default="3"/>
  <timestamp tz="local">2011-10-11T13:13:54</timestamp>
  <unixTimestamp>1318331634</unixTimestamp>
  <calibrated unit="deg.C" minRange="-5" maxRange="50" er-
ror="0.1" inRange="1">2
  3.27</calibrated>
  <raw>23.27</raw>
</Value>

```


Aby ułatwić użytkownikowi odczyt zmierzonych parametrów, wprowadzono polecenie `get`, które przedstawia wyniki pomiarów w postaci:

```

air.wind.direction      207.30 [deg.]    2011-10-11T13:06:19 *
air.wind.speed         11.40 [m/s]     2011-10-11T13:06:19 *
air.pressure           964.60 [hPa]    2011-10-11T13:06:19 *
air.temperature        22.00 [deg.C]   2011-10-11T13:06:19 *
depth1.DO_percent     27.60 [%]       2011-10-11T13:06:21 *
depth1.conductance    1.22 [mS/cm]    2011-10-11T13:06:21 *
depth1.depth          10.63 [meters]  2011-10-11T13:06:21 *
depth1.oxygen          1.94 [mg/l]     2011-10-11T13:06:21 *
depth1.ph              7.16 [units]    2011-10-11T13:06:21 *
depth1.salinity        0.64 [ppt]      2011-10-11T13:06:21 *
depth1.temperature    23.26 [deg.C]   2011-10-11T13:06:21 *
depth1.timestamp      131335.00 [HHMMSS] 2011-10-11T13:06:21 *
depth1.turbidity       0.00 [NTU]      2011-10-11T13:06:21 *
sys.power.fc.error     no error         2011-10-11T13:05:06 *
sys.power.fc.fuelLevelLow 0.00[boolean]  2011-10-11T13:05:06 *
sys.power.fc.mode      auto            2011-10-11T13:05:06 *
sys.power.fc.outputCurrent 0.80 [A]       2011-10-11T13:06:19 *
sys.power.fc.state     ok              2011-10-11T13:05:06 *
sys.power.batteryVoltage 11.90 [V]      2011-10-11T13:06:19 *

```

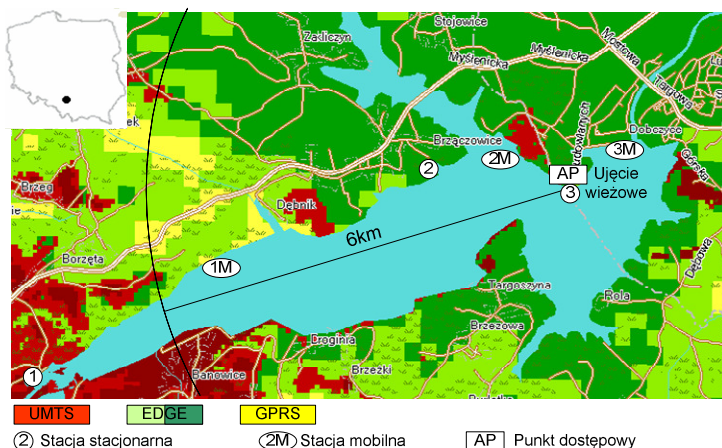
Scharakteryzowane mobilne stacje pomiarowe mogą być rozlokowywane na wybranym akwenie, umożliwiając bezpośrednie pomiary jakości wód powierzchniowych. Stacje te stanowią odpowiednio zdefiniowane punkty pomiarowe w rozproszonym terytorialnie systemie monitoringu, który jest nadzorowany z wykorzystaniem technologii bezprzewodowej transmisji danych oraz lokalizowany z wykorzystaniem GPS. Weryfikację funkcjonalności opracowanego rozwiązania przeprowadzono za Jeziorze Dobczyckim, stanowiącym zbiornik wody pitnej dla Krakowa. Niemniej jednak prezentowany system pomiarowy może być przeznaczony do monitorowania ekosystemów znacznie bardziej rozległych terytorialnie. Zarówno obiekty badań, stacje pomiarowe, jak również użytkownicy mogą znajdować się na obszarze o dużej rozpiętości dochodzącej do obszarów województw czy kraju.

2. Struktura komunikacyjna systemu

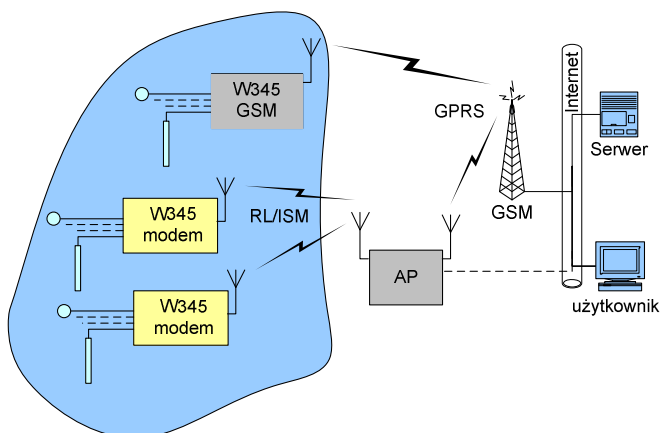
Mapa rozmieszczenia stacji pomiarowych na Jeziorze Dobczyckim przedstawiona jest na rys. 4. Ze względu na uwarunkowania terenowe opracowano dwuwariantową strukturę komunikacyjną systemu (rys. 5).

Zastosowano dwa wzajemnie uzupełniające się kanały transmisji danych, tj.: komunikacja wykorzystująca technologię GSM (w wariantcie tym dane są bezpośrednio przekazywane z terenowej stacji pomiarowej do serwera systemu z wykorzystaniem technologii GSM/GPRS oraz protokołów TCP/IP i XMPP) oraz komunikacja wykorzystująca radiolinie i punkt dostępu do sieci Internet (w wariantcie tym stacja komunikuje się z punktem dostępu, wykorzystując ra-

diolinę, a następnie dane przekazywane są do serwera za pomocą technologii GSM/GPRS lub połączenia przewodowego). Stos protokołów jest taki sam, jak w wariancie pierwszym, tj.: TCP/IP/ XMPP.



Rys 4. Rozmieszczenie stacji pomiarowych na Jeziorze Dobczyckim, umiejscowienie punktu dostępowego oraz zobrazowanie mocy sygnału GSM



Rys. 5. Dwuwariantowa struktura komunikacyjna w systemie monitorującym parametry wody na Jeziorze Dobczyckim

Wykonując wiele testów stwierdzono, że odpowiednie możliwości komunikacyjno-obliczeniowe stawiane przed kontrolerem stacji pomiarowej, wykazuje kontroler MOXA W345. Kontroler ten posiada zintegrowany modem GSM/GPRS klasy 10 oraz przystosowany jest do pracy w warunkach wysokiego zawilgocenia (95%), co ma szczególne znaczenie przy monitorowaniu akwe-

nów. Wykonując badania terenowe na Jeziorze Dobczyckim, stwierdzono obszary, w których stabilna komunikacji GSM/GPRS będzie trudna do osiągnięcia. W tych rejonach stacje pomiarowe muszą być wyposażone w anteny kierunkowe (skierowane na stację bazową operatora świadczącego usługę dostępu do Internetu), o zwiększonym zysku (do 9dBi). Gdy z powodu mobilności stacji, anteny kierunkowe nie będą mogły być zastosowane, komunikacja w systemie zostanie przeprowadzona za pośrednictwem pośredniego łącza radiowego oraz punktu dostępu do sieci.

Analizując mapę rozmieszczenia stacji (rys. 4), można zauważyć, że instalując punkt dostępu na ujęciu wieżowym, uzyskuje się pełną komunikację ze wszystkimi stacjami pomiarowymi z obrębu całego jeziora. Przy wyborze standardu komunikacji radiowej brano pod uwagę zarówno pasmo licencjonowane, jak i wolne – ISM (tab. 2).

Tabela 2. Parametry standardów komunikacji radiowej średniego zasięgu

Pasmo [MHz]	Szerokość kanału/ Liczba kanałów	Maks. dopuszczalna moc EIRP	Przepustowość [kbit/s]
143–174	25 kHz	–	19,2
218–238	25 kHz	–	19,2
380–400	25 kHz	–	19,2
433	25 kHz/8	10 mW	19,2
868	25 kHz/10	500 mW	72
2400	20 MHz/13	100 mW	54 Mbit/s
5100	20 MHz/11	200 mW	54 Mbit/s

Dla wszystkich analizowanych standardów został przeprowadzony bilans mocy łącza radiowego dla dystansu 6 km. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tab. 3.

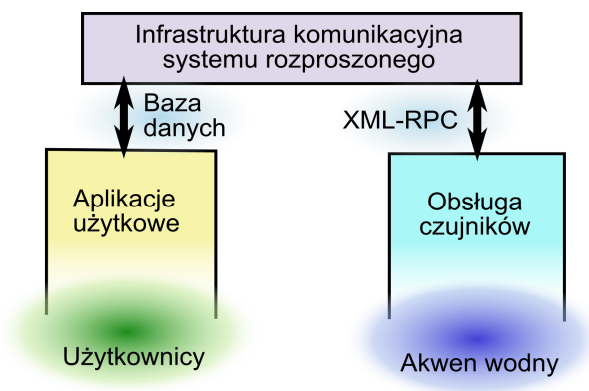
Tabela 3. Bilans mocy łącza dla dystansu 6 km

Pasmo MHz	Moc nadajnika [dBW]	Tłumienie przestrzeni [dB]	Wymagana czułość [dBW]
143–174	10	91,4	-88,4
218–238	10	94,8	-91,8
380–400	10	99,6	-96,6
433	-20	100,7	-127
868	-3	106,7	-116,7
2400	-10	115,6	-132,6
5100	-7	122,2	-136,2

Analizując wyniki, do implementacji w systemie wybrano standard 868 MHz. Standard ten zapewnia odpowiednią przepustowość, a dostępne na rynku urządzenia mają wymaganą czułość torów wejściowych. Dodatkowym atutem jest praca w paśmie nielicencjonowanym, która pozwala na uniknięcie problemów natury prawnej, jak również obniżenie kosztów. Jako rozwiązanie sprzętowe wybrano modem 805u-e firmy Elpro. Modem ten pozwala na organizację komunikacji za pośrednictwem protokołu TCP/IP oraz obsługę kilku kanałów transmisyjnych jednocześnie, co jest istotne ze względu na obsługę kilku stacji pomiarowych przez jeden punkt dostępu.

3. Struktura informatyczna systemu

Opracowany rozproszony system pomiarowy charakteryzuje się strukturą wielowarstwową, w której można wyodrębnić trzy zasadnicze warstwy (rys. 6): mechaniczno-czujnikową, toru transmisji danych, graficznych interfejsów użytkownika.

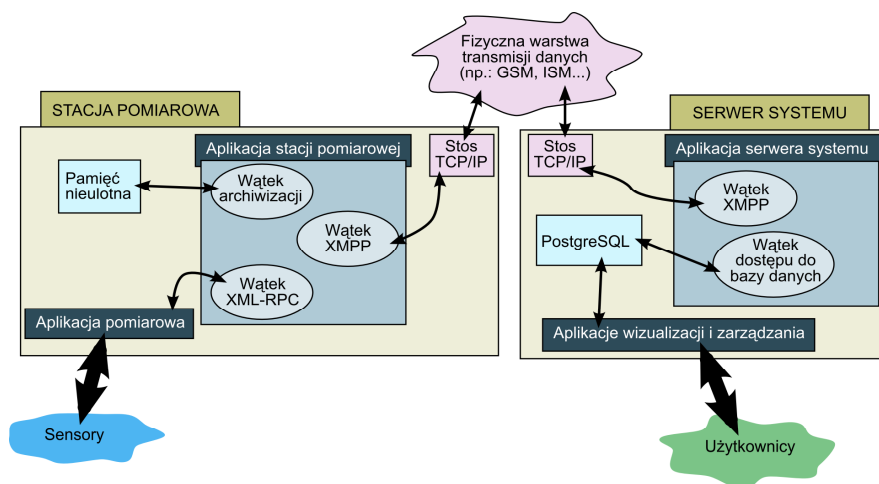


Rys. 6. Ogólny schemat struktury informatycznej systemu

Pomiędzy warstwami ustanowione zostały dobrze określone i standaryzowane warstwy interfejsowe. Oprogramowanie transmisji danych łączy się z oprogramowaniem realizującym bezpośredni dostęp do czujników za pomocą standardu XML-RPC. Drugą warstwą pośredniczącą, z której korzysta zarówno oprogramowanie graficznych interfejsów użytkownika, jak też oprogramowanie transmisji danych jest relacyjna baza danych PostgreSQL. W bazie przechowywane są nie tylko wyniki pomiarów, ale również parametry czujników, informacje o użytkownikach, stanie urządzeń i reprezentacja powiązań pomiędzy urządzeniami systemu. Tak zorganizowana struktura systemu pozwala na wyodrębnienie zespołów realizujących ściśle określone działania na wszystkich etapach

jego istnienia, począwszy od projektowania, poprzez tworzenie i testowanie, a na wykorzystywaniu kończąc.

W ramach toru transmisji danych można wyodrębnić mniejsze fragmenty, realizujące kolejne etapy tej transmisji. Najogólniej jest to połączenie TCP/IP pomiędzy aplikacją zbierającą dane od warstwy czujnikowej a aplikacją umieszczającą wyniki pomiarów w bazie danych. Komunikacja ta jest dwukierunkowa i pozwala nie tylko na zapis wyników pomiarów, ale również na przekazanie aktualnych informacji konfiguracyjnych, zapisanych w bazie danych, do oprogramowania łączącego się z warstwą czujników. Każda z tych aplikacji jest wielowątkowa z wydzielonym wątkiem transmisji danych za pomocą protokołu XMPP. W drugim wątku realizowane są albo zapytania XML-RPC, albo dostęp do bazy danych odpowiednio na stacji pomiarowej i serwerze systemu. W miarę możliwości sprzętowych kontrolera stacji pomiarowej może na nim działać trzeci wątek, który lokalnie buforuje zebrane wyniki pomiarów na wypadek utraty łączności. Schemat logiki tego fragmentu systemu przedstawiony jest na rys. 7.



Rys. 7. Logiczna struktura transmisji informacji w systemie

W przedstawionej realizacji kontroler stacji pomiarowej stanowił komputer przemysłowy Moxa W345 oparty na procesorze w architekturze ARM. Aplikacje dla kontrolera stacji oraz dla serwera systemu od strony pomiarowej zostały napisane w języku Python z wykorzystaniem dostępnych bibliotek. Jako serwer bazy danych wykorzystany został popularny, dostępny bez opłat i mający już ustaloną renomę – PostgreSQL, działający w środowisku systemu Debian Linux, zainstalowanym na serwerze. W bazie danych, stanowiącej centralne miejsce pod względem przetwarzania informacji, można wyróżnić dwie grupy tabel:

- do przechowywania informacji pomiarowych oraz informacji z nimi powiązanych, takich jak o czasie i położeniu wykonanego pomiaru,
- zawierające informacje o modelach używanych czujników i parametrach ich pracy – zarówno tych przyjętych za typowe stany początkowe, jak i aktualnie używanych wartości chwilowych.

Stacje pomiarowe są w bazie reprezentowane głównie na drodze relacji pomiędzy tabelami.

4. Zarządzanie systemem pomiarowym oraz wizualizacja danych

O stronie funkcjonalnej systemu decyduje oprogramowanie udostępniane użytkownikom. Rozwiązanie wyposażone jest w dwa pakiety programowe, do których dostęp uzyskują autoryzowani w systemie użytkownicy:

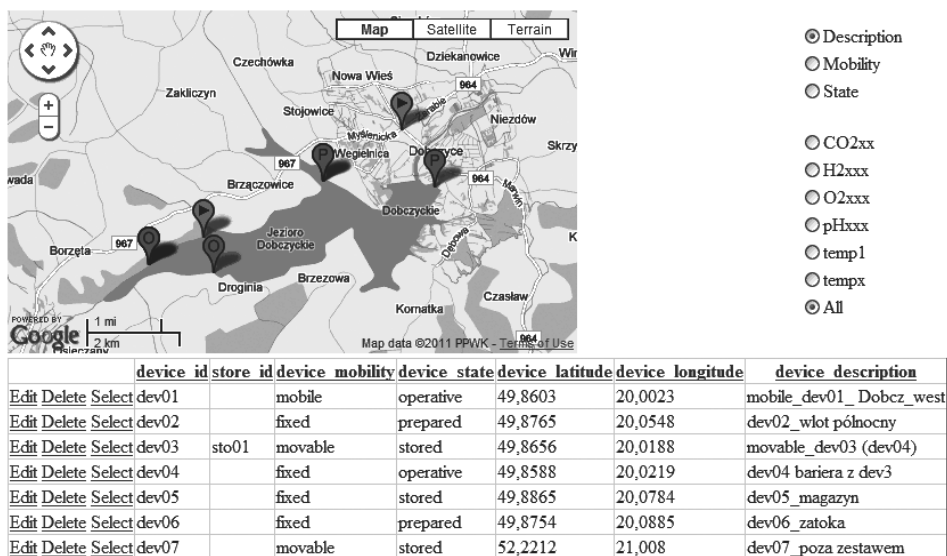
- oprogramowanie obserwacyjne – wglądu w dane pomiarowe, historyczne i bieżące, którego zadaniem jest dostarczanie informacji i raportów o stanie obiektu, podlegającego ochronie w sposób umożliwiający właściwe reagowanie na rozwój zagrożenia,
- oprogramowanie administracyjne – wglądu w strukturę systemu obserwacji obiektu i stan jego elementów składowych z opcją ich modyfikacji, w zależności od aktualnego stanu zagrożenia (przemieszczanie i wprowadzanie nowych stanowisk pomiarowych, wprowadzanie stanowisk w stan pracy alarmowej itp.).

Oprogramowanie zarządzania systemem realizowane jest jako wielodostępna aplikacja web, wywoływana przez przeglądarkę. Aplikacja jest przewidziana do wykorzystania przez administratora systemu i administratorów podsystemu obserwacji obiektu. Generalnie rolą administratora jest przygotowanie struktury podsystemów obserwacji obiektu, ze wskazaniem lokalizacji, wyposażenia i funkcji stacji pomiarowych przewidzianych do zbierania danych o konkretnym obiekcie. Rolą administratora podsystemu jest wprowadzenie stacji pomiarowych w stan pracy operacyjnej, w którym prowadzą one (autonomicznie) proces obserwacji środowiska zgodnie z parametrami konfiguracyjnymi, zapisując dane w centralnej bazie danych systemu. Na etapie konfiguracji podsystemu obserwacji obiektu pożądana struktura podsystemu zapisana zostaje w bazie danych i zobrazowana może być przez oprogramowanie administracyjne na interaktywnej mapie (dynamiczne GoogleMaps). Realizacją i obsługą podsystemu zajmuje się jego administrator, edytując wpisy w bazie w miarę postępów w kompletowaniu stacji pomiarowych.

Na rys. 8 pokazano przykładowy stan wirtualnego podsystemu, przewidzianego do obserwacji Jeziora Dobczyckiego. Ideą zobrazowania jest szybkie dostarczenie użytkownikowi informacji o stanie stacji pomiarowych, co uzyskano, wprowadzając odpowiednie kolory markera dla wyróżnienia obiektów. W ten sposób zasadnicze informacje o stanie stacji pomiarowych dostępne są

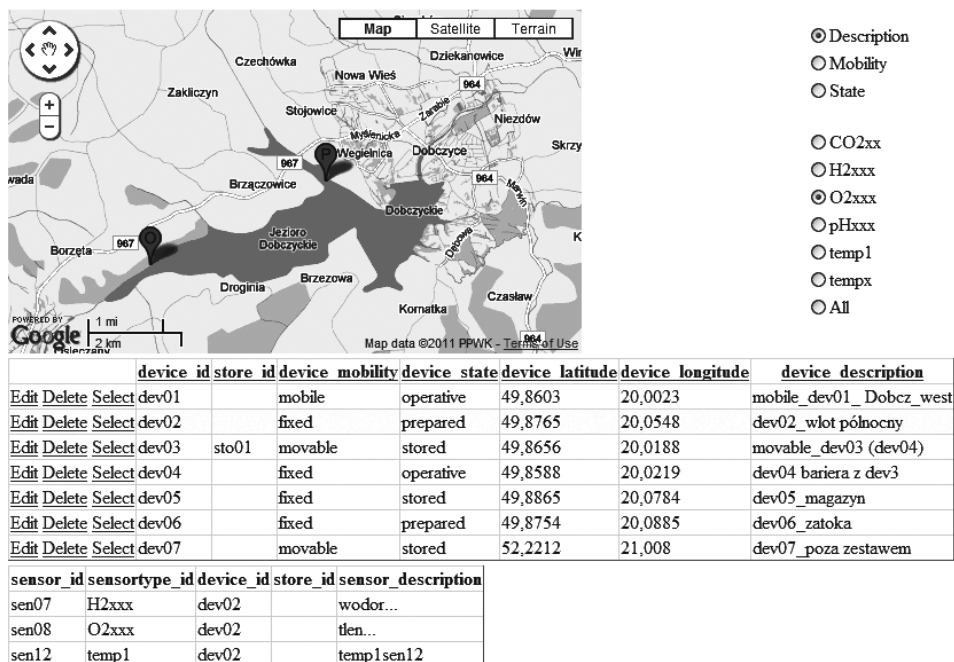
natychmiast po uruchomieniu aplikacji administracyjnej i wybraniu (dynamicznie GoogleMaps) konkretnego obiektu jako obiektu zainteresowania.

Dodatkowe, rozszerzone opcje opisu stacji zapewniają pola wyboru: trój-wariantowe górne pozwala przydzielić parametr do dynamicznych okienek pojawiających się po wskazaniu myszką stanowiska na mapie. Z punktu widzenia funkcjonalności działania aplikacji zdecydowano się ograniczyć listę wyboru do trzech pozycji: mobilności, stanu i opisu stanowiska (trzy górne opcje z listy wyboru w prawej części ekranu – rys. 8, stosowne kolumny w tabeli poniżej). W opisie stanowiska (edytowalny, zgodnie z rys. 8) można podać np. informacje o przewidywanym czasie osiągnięcia przez nie gotowości operacyjnej.



Rys. 8. Zobrazowanie zasobów POO z selekcją kolumny device_description jako pola opisowego stanowisk – działanie widoczne wyłącznie w trybie pracy interakcyjnej

Dolna lista wyboru (CO2xx do All) daje możliwość selektywnego zobrazowania stanowisk, w których zainstalowane są wskazane typy sensorów. Tym samym użytkownik łatwo uzyskuje kompleksową informację o pozycjach, w których zainstalowane są sensory konkretnej wielkości fizycznej, jak temperatura, pH i sensory innych dostępnych do obserwacji parametrów środowiska. Selekcja czujnika nie zmienia sposobu zobrazowania stanu i rodzaju stanowiska, w którym kolor zielony oznacza stanowiska znajdujące się na początkowym etapie wprowadzania do pracy operacyjnej (w stanie magazynowania – stored), kolor czerwony wskazuje na stanowiska aktualnie uruchamiane (prepared) bądź aktywne (operative).



Rys. 9. Selektywne zobrazowanie zainstalowanych w stacji pomiarowej sensorów tlenu (typ O2xxx) i wgląd szczegółowy w zasoby stanowiska po jego wybraniu na liście opisu zasobów stacji pomiarowej

Przykładowy wgląd w stanowiska mierzącego poziom tlenu przedstawiono na rys. 9. Głębszy wgląd w system uzyskać można dzięki zobrazowaniu tabelarycznemu. Rozszerzono możliwości edycyjne o opcję select, która otwiera aktualnie dostęp do opisu zasobów wybranego z listy stanowiska (rys. 9).

Wizualizacja danych w rozproszonym systemie pomiarowym wymaga specyficznego podejścia związanego z dużą objętością zbieranych informacji pomiarowych. Po przeprowadzeniu wielu testów zaproponowano przedstawianie poszczególnych wielkości fizykochemicznych na wykresach słupkowych. Przekroczenie progu alarmowego przez zmierzoną wartość jest sygnalizowane przez migotanie słupka. Wykresy słupkowe dla punktu pomiarowego są zgrupowane w jeden obiekt i wskazany jest punkt zakotwiczenia tego obiektu na mapie. Na mapie umieszczona jest dodatkowo legenda do kolorów, oznaczających mierzone wielkości fizykochemiczne.

Przebiegi czasowe danych pomiarowych dla pojedynczej wielkości fizykochemicznej dla wybranych czujników z punktów pomiarowych są przedstawiane w sposób standardowy na wykresach. Możliwy jest wybór zakresu i ilości wyświetlanych danych. Podstawowe elementy sterujące są umieszczane z prawej strony mapy. Umożliwiają one wybór wyświetlanych punktów pomiarowych

i czujników pomiarowych. Wyświetlana jest lista obserwowanych punktów pomiarowych i lista alarmów (przekroczeń zakresów pomiarowych).

Uzyskanie dodatkowych informacji, w tym o względnej i bezwzględnej wartości ostatniego pomiaru oraz położeniu punktu pomiarowego, możliwe jest po wskazaniu kursorem danego punktu. Możliwe jest także uruchomienie menu kontekstowego, które pozwala na utworzenie okna wykresów dla przedstawienia wykresu czasowego mierzonej wartości lub dołączenie wykresu do otwartego już okna wykresów. Menu pozwala także na utworzenie okna tablic dla przedstawienia zmierzonych wartości przez czujniki lub dołączenie do tablicy danych pomiarowych z kolejnego czujnika. Możliwe jest także tworzenie raportów dotyczących pracy systemu pomiarowego. Konfiguracja ustawień systemu wizualizacji może być zapisywana do pliku dyskowego i z niego odtwarzana.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych prac badawczo-rozwojowych wykonano nowatorskie rozwiązanie techniczne pozwalające na monitorowanie jakości wód powierzchniowych za pomocą odpowiednio skonfigurowanego systemu pomiarowego, umieszczonego na pływającej stacji pomiarowej oraz bezprzewodową transmisję zbieranych danych i ich gromadzenie na serwerze. Ponadto system monitoringu wyposażono w nowatorskie aplikacje informatyczne, umożliwiające zdalne zarządzanie systemem pomiarowym oraz archiwizację, edycję i raportowanie danych pomiarowych. Przeprowadzone próby polowe w trudnych warunkach terenowych Jeziora Dobczyckiego pozwoliły na potwierdzenie skuteczności transmisji danych oraz poprawności funkcjonowania systemu informatycznego.

Praca wykonana w ramach projektu rozwojowego Nr N R02 0014 06/2009 „Bezprzewodowa sieć monitorowania wód powierzchniowych oraz alarmowania o stanie zagrożenia skażeniami chemicznymi”, dofinansowanego z funduszy NCBiR.

Bibliografia

1. Makowski Ł., Zaraska K.: Przystosowanie i wykorzystanie interpretera języka Python w pomiarowym systemie wbudowanym, Metrologia wspomagana komputerowo MWK 2011 (MWK2011), Waplewo 24–27.05.2011.
2. Dziadak B.: Struktura komunikacji w rozproszonym systemie pomiarowym. Przegląd Elektrotechniczny; R87 NR 9a/2011, s. 83–86.
3. Dziadak B., Kalicki A., Staroszczyk Z., Makowski Ł., Michalski A.: Framework architecture of a large scale distributed measurement system

for environmental protection, Innovative Technological Solutions for Sustainable Development – Institute of Sustainable Technologies NRIP, 2010, p. 235–263.

4. Michalski A., Makowski Ł., Dziadak B.: Embedding Wireless Water Monitoring System in Internet. *Przegląd Elektrotechniczny*, no 4, p. 246–248.
5. Grzesiak W., Cież M., Radziemska E., Pisarkiewicz T. Autonomous Hybrid Systems PV/Fuel Cells, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Walencja 2010, p. 4405–4408.

Recenzent:

Grzegorz PANKANIN

Use of terytorially distributed systems for groundwater quality monitoring

Key words

Ecological safety, groundwater monitoring, mobile measuring station, remote measurements, open protocols, data acquisition.

Summary

A new technical solution for effective monitoring and alarming of surface water contamination has been presented. Described system can be used by professionals to ensure environmental safety, particularly for reservoirs of drinking water for urban agglomerations. The developed system includes both, the technical means for collecting in a central database system, information described the biochemical state of monitored basin, as well as the full structure of information technology, protecting the proper functioning of the system and the ability to inform to all staff involved in the environment protection. The structure of the system includes a network of observation and measurement devices with wireless access (radio lines, GSM, satellite links) to the web, used for observation of the protected areas. The measurement devices are flexibly configured and equipped with a dedicated intelligent sensors that allow to collect data about the environment contamination in the individually inflicted intervals between consecutive measurements.