

dr inż. Andrzej Kobosko
dr inż. Zbigniew Pietrusiński
Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów - PIAP Warszawa

ZŁOŻONE SYSTEMY MONITOROWANIA Z INTELIĞENTNYMI CZUJNIKAMI TEMPERATURY

Referat zawiera omówienie realizacji rozbudowanych iskrobezpiecznych systemów monitorowania temperatury, których realizacja została oparta na urządzeniach sieci jedнопrzewodowej firmy Maxim/Dallas USA. Systemy te mogą pracować w obiektach rozłożonych przestrzennie i zawierać wiele stacji operatorskich. Są one przeznaczone zwłaszcza do pracy w zespołach urządzeń przechowania ziarna lub podobnych obiektach wymagających pomiaru temperatur. Mogą być także wzbogacone o pomiary innych wielkości fizycznych i stosowane w różnych obiektach technologicznych.

THE EXTENDED TEMPERATURE MONITORING SYSTEMS WITH INTELIĞENT TEMPERATURE SENSORS

The authors present the extended intrinsically safe systems of temperature monitoring, based on the 1-Wire system of Maxim/Dallas US. The system is very suitable for the situation when many groups of elevators should be connected to the same operation stations. The system was developed for the temperature control of the grain silos. There is possible as well to monitor the other parameters of environment via 1-Wire net.

1 WPROWADZENIE

Systemy monitorowania temperatury w elewatorach zbożowych pełnią bardzo odpowiedzialną funkcję. Umożliwiają utrzymanie optymalnej temperatury składowanych produktów, a także dzięki sygnalizacji przekroczenia wartości krytycznych nie dopuszczają do możliwości wybuchu. Wybuchy w elewatorach zdarzają się w Europie i na świecie. Często prowadzą one do częściowego lub całkowitego zniszczenia budynku i składowanego produktu, a także do ofiar ludzkich. Systemy monitorowania muszą odznaczać się wysokim poziomem parametrów metrologicznych oraz niezawodnościowych, a ich praca nie może przyczyniać się do zagrożenia wybuchowego. Obudowy oraz inne elementy systemu nie mogą doprowadzić do wyładowań elektrostatycznych groźnych w atmosferze o wysokim zapyleniu pyłem ziarna. Systemy muszą być wykonane w technice iskrobezpiecznej. System monitorowania temperatury w elewatorach zbożowych pozwala na obniżenie kosztów przechowywania produktów z uwagi na: zmniejszenie ilości przerzutów zboża w trakcie składowania, a przez to zmniejszenie naturalnego ubytku zboża oraz jego zanieczyszczenia, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i zużycia oleju

napędowego z uwagi na mniejszą liczbę zabiegów technologicznych w okresie składowania oraz na możliwość składowania ziarna o większej wilgotności.

Pojawienie się na rynku inteligentnych czujników pomiarowych stworzyło nowe możliwości konstruktorom tworzącym systemy monitorowania parametrów środowiskowych.

W 2002 roku został opracowany w PIAP cyfrowy iskrobezpieczny system pomiaru temperatury przeznaczony do monitorowania temperatury w elewatorach zbożowych, którego różne wersje zostały zastosowane kolejno w elewatorach: w Nowogrodzie Bobrzańskim., w Bielsku Podlaskim i w Oleśnicy. System odznacza się wysoką dokładnością, pracuje bezawaryjnie i jest dobrze oceniany przez użytkowników. Jest on rozbudowywany i unowocześniany, a na jego kolejne wersje czekają dalsi klienci.

Zastosowanie w systemie nowych cyfrowych czujników firmy Dallas Semiconductor USA pozwoliło na znaczną redukcję okablowania (sieć zawiera tylko 2 przewody) oraz uproszczenie bloków i przetworników pośredniczących między sondami (czujnikami), a zestawem komputerowym. Pozwoliło to na znaczne obniżenie kosztów, zwiększenie dokładności pomiarów i niezawodności systemu.

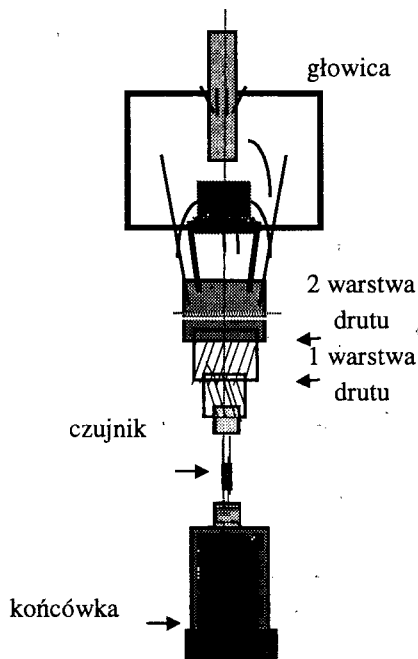
2. SONDY POMIARU TEMPERATURY

Sondy są najtrudniejszym elementem konstrukcyjnym systemów monitorowania w elewatorach zbożowych. W stosunku do typowych sond przemysłowych różnią się od nich długością, obudową i wysoką wytrzymałością mechaniczną. Sondy do elewatorów mają długość od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów, zależną od wysokości komory, w której zostaną zawieszane. Obudowa sondy jest elastyczna, umożliwiającą niewielkie jej odchylenia od osi pionowej. Do wnętrza obudowy sondy wsuwany jest wieloprzewodowy rdzeń z miniaturowymi czujnikami temperatury. Rdzeń można wymieniać i sprawdzać czujniki, a jeśli to konieczne zastąpić je innymi czujnikami, nawet po zawieszeniu sondy w komorze elewatora i zasypaniu komory ziarnem. Zasada ta jest ściśle utrzymywana w sondach elastycznych przeznaczonych do komór elewatorów. Sondy do wolnostojących silosów, o mniejszej wytrzymałości mechanicznej, są nierozbieralne i nie posiadają oddzielnego wsuwanego rdzenia. Przyjmuje się, że średnica zewnętrzna sondy nie powinna być większa od 17 mm. Początkowo sondy elastyczne miały wytrzymałość mechaniczną na zerwanie rzędu 30 kN, a ostatnio mają nawet trzykrotnie większą. Konieczność zwiększenia wytrzymałości mechanicznej wynikała z awaryjności sond o wytrzymałości 30 kN. Sondy o długości od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów mają zamontowane miniaturowe czujniki temperatury, rozmieszczone wzdłuż ich długości. Odległość między czujnikami zależy od kształtu i pojemności komory i dobiera się ją indywidualnie do konkretnego obiektu [1].

Sondy elastyczne mają zdolność do zmiany swojego położenia pod wpływem intensywnego ruchu ziarna. Bez tej właściwości mogłyby łatwo ulec uszkodzeniu. Zwykle sondy są jednym końcem sztywno zamocowane w swojej głowicy, a drugi koniec sondy jest zupełnie wolny lub przymocowany do boków zbiornika za pomocą elastycznych linek. Elastyczność sondy i sposób jej zawieszenia oraz montażu w zbiorniku powodują, że sondy mogą wytrzymywać bardzo duże obciążenia statyczne i dynamiczne. Obciążenia dynamiczne występują w przypadkach spowodowanych zablokowaniem zsypu ziarna w różnych przestrzeniach zbiornika lub podczas tapnięcia

ziarna w trakcie opróżniania zbiornika. Próby zastosowania innych rodzajów sond (np. sond sztywnych) w elewatorach i silosach kończyły się szybkim ich uszkodzeniem. W pierwszych wykonaniach sond czujniki temperatury były zalewane powłoką wzmocnioną opłotem z drutów stalowych lub płaszczem z włókien szklanych. Taką technologię stosuje się jeszcze w sondach instalowanych w małych obiektach. Później opracowano technologię sondy dwuskładnikowej, rozbieralnej, z wsuwany i wysuwany rdzeniem wraz z czujnikami. Wymiana nieprawidłowo działającego czujnika nie przedstawia dużej trudności, podobnie jak kalibracja sondy, ponieważ przeprowadza się to bez demontażu całej sondy. Na tej zasadzie wykonuje się obecnie 90% sond produkcji światowej przeznaczonych do dużych magazynów zbożowych. W latach 70. zamontowano w kilku krajowych elewatorach systemy pomiarowe z sondami elastycznymi firmy duńskiej Foss El. typu „*Heavy Duty Temperature cables*” (ang.) HD o wytrzymałości 30 kN i średnicy $\phi=16$ mm.

Pierwsza krajowa sonda typu HD powstała pod koniec lat siedemdziesiątych [1]. Od tego czasu powstały kolejne rodzaje sond typu HD odznaczające się coraz wyższą wytrzymałością mechaniczną przy zachowaniu tej samej średnicy 16 mm. Zasada budowy sond HD przedstawiona jest na rys. 1.



Rys. 1. Elastyczna sonda temperatury typu HD opracowana w PIAP

Pancerz sondy wykonany jest z rury polietylenowej o średnicy wewnętrznej 8,5 mm, na którą nawinięto przeciwnie 2 opłoty z drutów stalowych o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej. Zewnętrzną powierzchnię pancerza stanowi

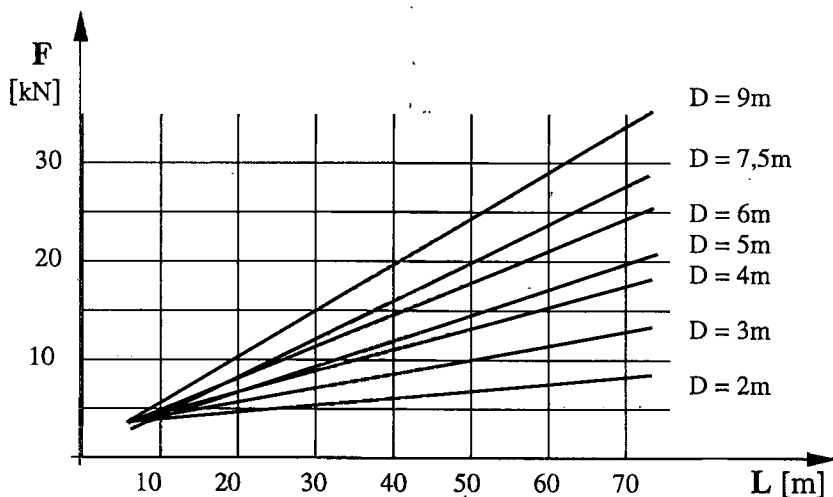
polietylenowy płaszcz z odpowiednim wypełniaczem odprowadzającym ładunki elektrostatyczne. Płaszcz sondy jest nietoksyczny w stosunku do środków żywności. Pancerz ma średnicę zewnętrzną 16 mm z dopuszczalną tolerancją ± 1 mm. W górnej części sondy znajduje się głowica z tuleją samo zaciskającą, w dolnej części pancerza umieszczona jest końcówka rozpięrająca, do której można zamocować linki bocznego uchwytu. Rdzeniem jest wsuwany kabel telefoniczny z zamontowanymi w nim czujnikami temperatury. Sonda w zależności od przeznaczenia ma długość do 60 m, a czujniki temperatury zamontowane są w równych odległościach, na całej jej długości. Sonda wytrzymuje siłę zrywającą do 90 kN.

Sondy **HD** przeznaczone są zasadniczo do elewatorów zbożowych. Mogą być jednak wykorzystywane także w mniejszych obiektach, w odkrytych silosach o ciężkich warunkach pracy np. w silosach z granulatami.

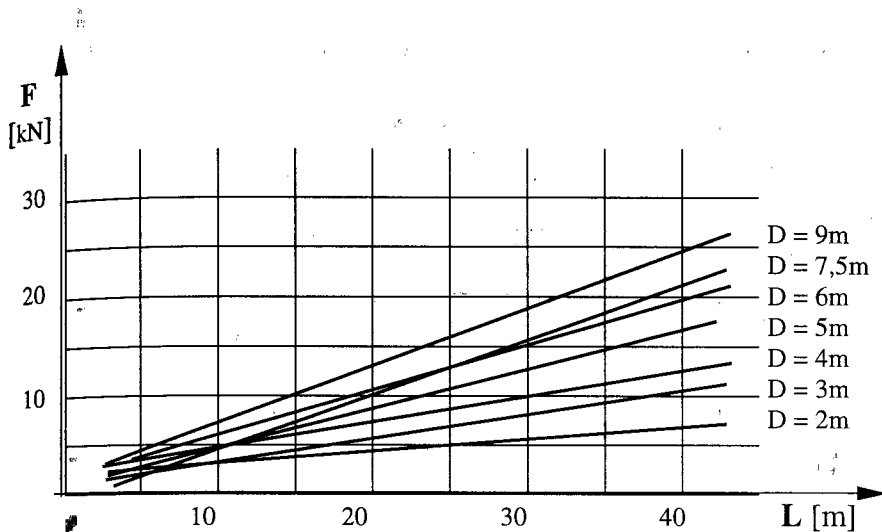
Do odkrytych silosów z ziarnem zbóż przeznaczone są sondy **MD Medium Duty Temperature Cables** (ang.) o wytrzymałości 10 kN i średnicy $\phi = 10$ mm. Sondy **MD** są z reguły nierozbieralne. Czujniki montowane są przeważnie w przewodach nawiniętych wzdłuż linki nośnej i zalane warstwą polietylenową.

Obecnie krajowe sondy mają wytrzymałość 50 kN i spełniają wymagania normatywne podane w monografii [1]. Istotną sprawą jest zawieszenie sond w elewatorze zbożowym.

Na rys 2 i 3 przedstawione są wartości sił, które oddziałują na sondy pomiarowe w silosach betonowych lub stalowych. Siły te zależą od średnicy sondy i od jej długości.



Rys. 2. Wartość siły oddziałującej na sondę temperatury zawieszoną w silosie betonowym, w zależności od jego średnicy i wysokości



Rys. 3. Wartość siły oddziałującej na sondę temperatury zawieszoną w silosie stalowym w zależności od jego średnicy i wysokości

Większość elewatorów, w momencie ich budowy, nie była dostosowana do montowania sond i, w związku z tym starsze elewatory mają za słabe stropy wymagające wzmocnienia w miejscu montażu sond. Rysunki 2 i 3 mogą być pomocne przy pracach konstrukcyjnych dotyczących wzmocnienia stropu.

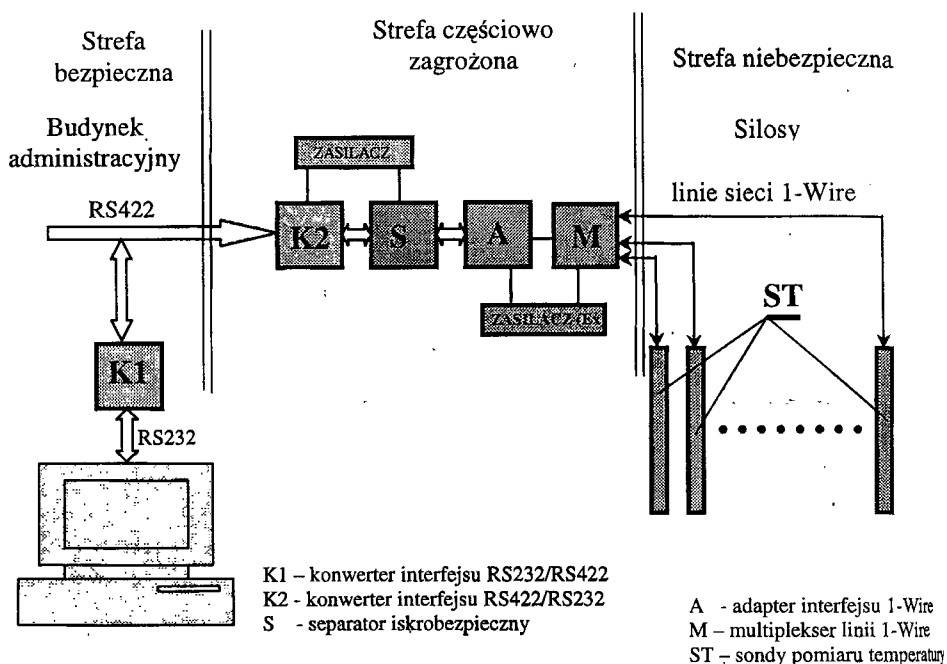
3. SYSTEMY MONITOROWANIA Z INTELIGENTNYMI CZUJNIKAMI TEMPERATURY

Typowe systemy monitorowania temperatury oparte są na zastosowaniu czujników analogowych (zwykle metalowych lub termistorowych), które wymagają indywidualnego lub grupowego wzorcowania, stosowania rozbudowanego okablowania i układów kompensacyjnych linii przesyłowej. Wadą ich są stosunkowo duże wymiary i niska odporność na oddziaływania mechaniczne. Pojawienie się miniaturowych inteligentnych czujników temperatury z wyjściem cyfrowym spowodowało przełom w konstrukcji nowoczesnych systemów monitorowania i pozwoliło w znacznej mierze wyeliminować problemy związane z poprzednią technologią.

W pracach PIAP koncepcja realizacji nowoczesnego systemu monitorowania temperatury została oparta na wykorzystaniu dwuprzewodowej sieci transmisyjnej firmy Dallas, która w publikacjach firmowych określana jest jako sieć 1-Wire.

Sieć 1-Wire nazywana czasami MicroLAN, jest tanią siecią opartą na komputerze PC lub kontrolerze komunikującym się drogą cyfrową poprzez skręconą parę kabli z urządzeniami sieciowymi dołączonymi równolegle do dwuprzewodowej sieci transmisyjnej. Z uwagi na to, że technologia 1-Wire pozwala na przesyłanie zarówno energii jak i dwukierunkowych danych za pośrednictwem pojedynczej pary przewodów, nie jest wymagane żadne dodatkowe okablowanie ani dodatkowe zasilanie.

Do obsługi sieci 1-Wire wystarczający jest komputer typu PC lub mikrokontroler.



Rys. 4. Schemat iskrobezpiecznego systemu pomiaru temperatury w silosach zbożowych

Na rys. 4 pokazany został schemat iskrobezpiecznego systemu pomiaru temperatury opracowanego w PIAP. Urządzenia systemowe zostały rozmieszczone w dwóch strefach. Sondy (ST) wraz z czujnikami temperatury oraz przewody sieci 1-Wire znajdują się w strefie niebezpiecznej, zagrożonej wybuchem. Sieć jest dwuprzewodowa, a termometry cyfrowe pracują w trybie zasilania pasożytniczego. Z uwagi na dużą odległość pomieszczeń operatorskich od silosów dane pomiarowe przesyłane są za pośrednictwem sieci RS422. Bardziej dokładny opis systemu monitorowania temperatury, a także właściwości sieci 1-Wire zostały przedstawione w pracy [3].

Główne zalety urządzeń sieci 1-Wire to:

- dwuprzewodowa, prosta, tania sieć transmisyjna,
- inteligentne czujniki zawierające czujnik, przetwornik pomiarowy i układ transmisji danych w jednej miniaturowej obudowie,
- fabryczne oznaczanie urządzeń wewnętrznym 64 bitowym kodem programowym,
- zasilanie poprzez sieć transmisyjną,
- wysoka dokładność czujników pomiarowych i praca w szerokim zakresie temperatur,
- dobra rozdzielczość przetwarzania na postać cyfrową - 12 bitów,
- poziomy alarmowe czujników definiowane przez użytkownika.

4. ZŁOŻONE SYSTEMY MONITOROWANIA

Doświadczenia zebrane w trakcie eksploatacji systemu monitorowania temperatury w elewatorach zbożowych, a także rozmowy i życzenia przyszłych użytkowników systemu, wskazały na potrzebę jego modyfikacji zarówno w zakresie oprogramowania jak i sprzętu. Rozwój systemu wymagał rozszerzenia jego możliwości o dwa podstawowe zadania:

1. Udostępnienie wyników pomiaru kilku stacjom komputerowym umieszczonym w różnych pomieszczeniach zakładu np.: w punkcie przyjmowania i wydawania zboża (przy wagach), w pomieszczeniu operatora, w laboratorium, w pomieszczeniach dyrekcyjnych itp.
2. Prezentacja na każdej ze stacji wszystkich danych pomiarowych pochodzących z różnych, rozłożonych przestrzennie na terenie zakładu obiektów przechowalnictwa, a więc grupy elewatorów zadaszonych, silosów wolno stojących, płaskich magazynów przechowalnictwa zboża itp.

Zasada pracy opisanego w punkcie 3 systemu monitorowania, opierała się na jednej stacji operatorskiej, której komputer realizował wszystkie funkcje systemu, a więc obsługę algorytmu sieci 1-Wire w procesie zbierania danych, prowadzenie diagnostyki, uaktualnianie danych pomiarowych oraz ich prezentację na monitorze stacji operatorskiej. Sposób pamiętania danych pomiarowych nie umożliwiał udostępniania ich wielu stacjom komputerowym równocześnie.

Sterownik sieci 1-Wire był instalowany na komputerze stacji operatorskiej i w związku z tym cały protokół, wraz ze swoimi uzależnieniami czasowymi (dosyć rygorystycznymi), pracował na długim łączu transmisji szeregowej. Rozwiązanie to praktycznie eliminowało możliwość zastosowania transmisji radiowej do zbierania danych z urządzeń dołączonych do sieci 1-Wire i przesyłania ich między elewatorami a oddalonym od niego pomieszczeniem, gdzie znajduje się komputer stacji operatorskiej. Przy transmisji radiowej stosowane jest buforowanie danych, które jest niedopuszczalne z punktu widzenia wymagań stawianych sterownikowi sieci 1-Wire.

Umożliwienie równoczesnego, skoordynowanego dostępu do danych pomiarowych wielu stacjom komputerowym stało się możliwe dopiero po odpowiedniej przeróbce oprogramowania systemu. Do gromadzenia danych pomiarowych stworzona została baza danych w formacie Microsoft Access, który jest dość powszechnie stosowany w środowisku Microsoft Windows.

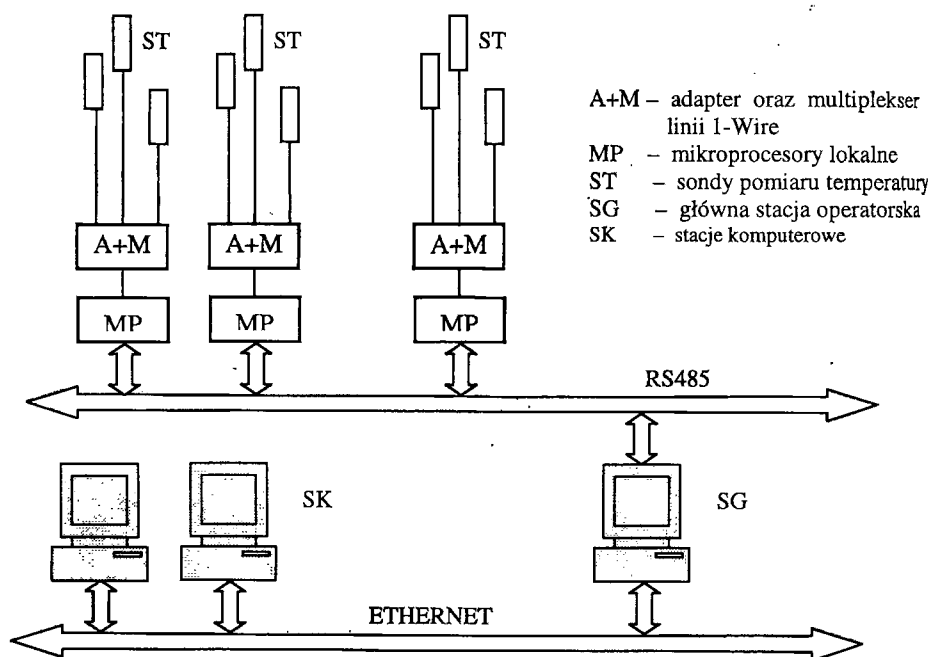
Nowy system monitorowania przedstawiony został na rys. 5. Opiera się on na, dobrze znanej, wykorzystywanej w wielu złożonych systemach automatyki i sterowania, zasadzie geograficznego rozproszenia mocy obliczeniowej, drogą powierzenia jej lokalnym mikroprocesorom wykonującym zadania niezbędne do realizacji w powierzonej im przestrzeni.

Każda grupa magazynów przechowalnictwa zbożowego posiada własną sieć 1-Wire oraz zintegrowany z nią mikrokomputer spełniający zarazem rolę sterownika sieci 1-Wire jak i rolę koncentratora danych pomiarowych związanych z obsługiwana przez niego siecią. Lokalna sieć transmisyjna (RS485) pracuje pod nadzorem komputera PC głównej stacji operatorskiej, który spełnia rolę MASTERA sieci. Struktura sieci oraz oprogramowanie dołączonych do niej urządzeń umożliwiają wykorzystanie transmisji radiowej do przekazywania danych pomiędzy wybranymi lokalnymi mikroprocesorami,

a główną stacją operatorską, jeśli połączenie kablowe jest trudne do realizacji lub zbyt drogie. Dane pomiarowe ze stacji głównej mogą być także transmitowane drogą radiową do innych komputerów spełniających zadania pomocniczych stacji operatorskich.

Lokalne mikroprocesory realizują następujące zadania:

- Skanowanie sieci i odczyt temperatur ze wszystkich czujników temperatur dołączonych do koncentratora sieci 1-Wire. Skanowanie to bardziej efektywne, niż stosowane poprzednio skanowanie poprzez komputer PC stacji operatorskiej, ze względu na brak warstw pośrednich, związanych z przesyłaniem sygnału oraz możliwość dostosowania oprogramowania sterownika sieci 1-Wire do konkretnej aplikacji.
- Udostępnianie danych na zewnątrz poprzez łącze szeregowe RS485 z wykorzystaniem protokołu dostosowanego do pracy przez modem radiowy.
- Praca w sieci wraz z innymi koncentratorami danych.



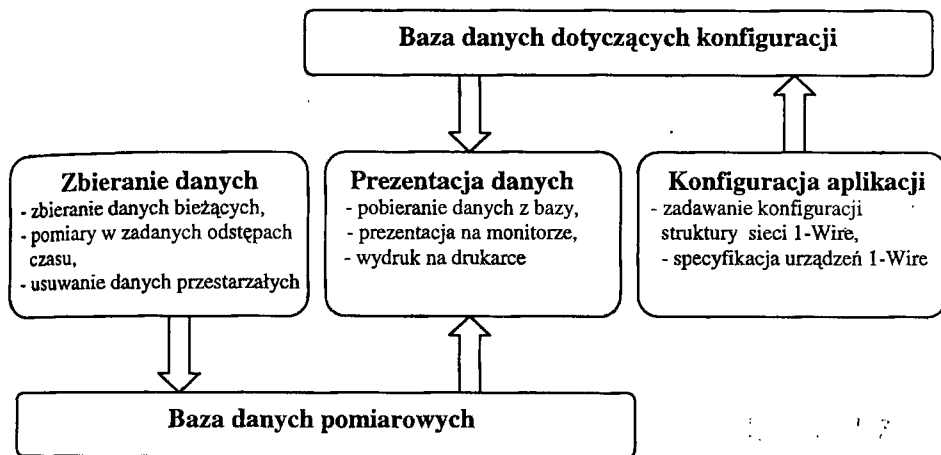
Rys. 5. Złożony system monitorowania temperatury elewatorów zbożowych

Każdy lokalny mikroprocesor jest węzłem zewnętrznej sieci transmisyjnej RS485. Węzłem MASTER tej sieci jest komputer PC głównej stacji operatorskiej, na którym dane pomiarowe są archiwizowane. Zastosowanie sieci RS485 pozwala na zredukowanie okablowania oraz na połączenie ze sobą komór elewatora będących w znacznej odległości. Nie ma też potrzeby stosowania konwerterów interfejsu RS232/RS485 oraz RS485/RS232, które były wymagane w prostych systemach monitorowania (rys.4), gdyż sterowanie siecią 1-Wire, której adapter wymaga interfejsu

RS232 odbywa się poprzez mikrokomputery lokalne znajdujące się w bliskiej odległości od adaptera.

Podstawowe zadania głównej stacji operatorskiej obrazuje oprogramowanie stacji przedstawione na rys. 6. Główne zadania stacji to:

- konfiguracja aplikacji systemu monitorowania,
- zbieranie danych pomiarowych,
- prezentacja danych.



Rys. 6. Podstawowe oprogramowanie głównej stacji operatorskiej w złożonym systemie monitorowania temperatury elewatorów zbożowych

Pozostałe stacje komputerowe mają dostęp do baz danych, które zawiera główna stacja operatorska i mogą dokonywać prezentacji danych pomiarowych w tym samym zakresie co stacja główna.

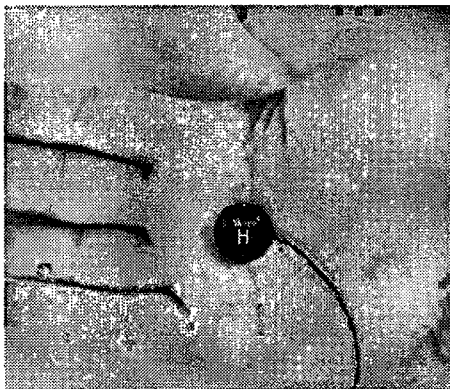
5. POMIAR WILGOTNOŚCI

System 1-Wire stwarza możliwość pomiaru za pomocą inteligentnych czujników także innych parametrów środowiskowych. Firma Dallas opracowała stację pogodową, w której zastosowano technologię i urządzenia sieci 1-Wire do mierzenia prędkości wiatru, kierunku wiatru, temperatury i wilgotności powietrza. Zastosowany w stacji inteligentny czujnik do pomiaru wilgotności składa się z przetwornika wilgotności HIH-3605 firmy Honeywell oraz układu DS2438 firmy Dallas,, umieszczonych w jednej miniaturowej obudowie pokazanej na rys.7.

Przetwornik wilgotności HIH-3605 firmy Honeywell jest monolitycznym układem scalonym zawierającym strojony laserowo element pojemnościowego czujnika wraz z elementami wytwarzania napięciowego sygnału wyjściowego. Sygnał ten jest funkcją mierzonej wilgotności, zależy jednak liniowo od napięcia zasilania. Przy napięciu kalibracji 5VDC w pokojowej temperaturze, napięcie wyjściowe zmienia się od 0,8 do 3,9 VDC gdy wilgotność zmienia się od 0% do 100% (bez skraplania).

W celu obliczenia prawdziwej wartości wilgotności względnej niezbędne jest dokonanie pomiaru napięcia zasilania, temperatury czujnika i napięcia wyjściowego. Wszystkie 3 parametry mierzone są za pomocą pojedynczego układu scalonego 1-Wire. Układ DS2438 zawiera przetworniki A/D temperatury i napięcia wymagane do obliczenia względnej wilgotności.

Pomiar wilgotności można przeprowadzać w dowolnym miejscu, nie tylko w magazynach przechowywania produktów zbożowych ale także na przykład w laboratoriach, szklarniach itp.



Rys. 7. Inteligentny czujnik wilgotności firmy Dallas

6. WNIOSKI

Próby eksploatacyjne wykazały, że inteligentne czujniki temperatury podnoszą walory systemów monitorowania temperatury oraz umożliwiają łatwą realizację systemów iskrobezpiecznych. Zapewniają wysoką niezawodność pracy, dużą dokładność, odporność na zakłócenia i niską cenę. Umożliwiają realizację sieci zbierania danych w obiektach rozłożonych przestrzennie na znacznym obszarze i zapewniają łatwą możliwość prezentacji danych na wielu stacjach komputerowych. Możliwe jest także monitorowanie innych wielkości środowiskowych w oparciu o inteligentne czujniki firmy Dallas.

LITERATURA

- [1] Kobosko A.: Monitoring systems for protection against dust explosions, XVI IMEKO World Congress, Vienna Austria T26 str.9-15, 2000.
- [2] Kobosko A.: Przeciwwybuchowe systemy monitorowania w przechowywaniu rolniczym, PIAP Warszawa, 2003, str. 135.
- [3] Kobosko A., Pietrusiński Zb.: *System monitorowania temperatury w silosach zbożowych*. Pomiary, Automatyka, Robotyka nr 4, ss. 36-41, 2003.
- [4] Materiały informacyjne firmy Dallas dotyczące urządzeń sieci 1-Wire: opisy urządzeń i oprogramowania, noty aplikacyjne, karty informacyjne itp.
- [5] Measurement Technology Limited: A user's guide to intrinsic safety, Application Note AN 9003