

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

SYSTEM MONITOROWANIA TEMPERATURY W ELEWATORACH ZBOŻOWYCH, ROZWIĄZANIA UKŁADOWE I DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE

Referat zawiera omówienie, opracowanych w Instytucie, rozwiązań technicznych iskrobezpiecznych systemów monitorowania temperatury w elewatorach zbożowych. Systemy te, mogą pracować w obiektach rozłożonych przestrzennie, zawierać wiele stacji operatorskich i udostępniać dane pomiarowe za pośrednictwem sieci INTERNET. Praca zawiera również omówienie doświadczeń eksploatacyjnych związanych z przemysłowymi zastosowaniami systemu

THE GRAIN ELEWATOR'S TEMPERATURE MONITORING SYSTEM, THE TECHNICAL SOLUTIONS AND INDUSTRIAL EXPERIENCES

The authors present the technical solutions of intrinsically safe systems of temperature monitoring developed in Institute. The systems are suitable for the situation when many groups of elevators are connected to the same operation stations. They can contain many operator stations and send data via INTERNET. The paper present as well some industrial experiences.

1. WSTĘP

Systemy pomiarowe w elewatorach zbożowych instalowane były od lat 30 ubiegłego wieku. Ich rozwój związany był z budową nowych typów magazynów zbożowych. W małych magazynach, spichrzach i magazynach płaskich stosowane były uniwersalne układy pomiarowe, stosowane także w innych gałęziach przemysłu. Po upowszechnieniu dużych magazynów zbożowych powstała oddzielna gałąź metrologii specjalizująca się w konstrukcji systemów monitorowania temperatury oraz specjalistycznych sond umożliwiających rozmieszczenie czujników pomiarowych w całej przestrzeni zbiorników. Metody pomiarowe uwzględniają właściwości fizyko – mechaniczne ziarna, a w szczególności wytwarzanie i rozchodzenie się ciepła w wyniku zachodzących w ziarnie procesów metabolicznych. Ze względu na wysokie zanieczyszczenie pyłem zbożowym systemy pomiarowe muszą być realizowane w technice iskrobezpiecznej. Pomiar temperatury ziarna zbóż ma na celu ograniczenie strat jakościowych i ilościowych, a także zabezpieczenie magazynów zbożowych przed wystąpieniem w nich nadmiernego grzania prowadzącego do niszczenia ziarna a nawet

do eksplozji. Systemy monitorowania temperatury w elewatorach zbożowych pozwalają 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.

2. SYSTEMY POMIARU TEMPERATURY ZBOŻA

Stosowane rozwiązania systemów pomiaru temperatury w magazynach zbożowych można podzielić na [2]:

- Specjalistyczne układy zdalnego pomiaru temperatury,
- Systemy pomiarowe o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych,
- Systemy monitorowania o połączeniu jednostek funkcjonalnych za pomocą magistrali interfejsu.

Specjalistyczne układy pomiarowe montowano w małych magazynach płaskich i bateriach silosów.

Systemy o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych zawierają szafy z analogowymi miernikami do odczytu mierzonej temperatury, do których doprowadzone są przewody od poszczególnych czujników umieszczonych w sondach.

W nowych rozwiązaniach systemów pomiarowych stosuje się z reguły technikę komputerową związaną z cyfrową magistralą transmisji sygnałów pomiarowych.

Typowe systemy monitorowania temperatury oparte są na zastosowaniu czujników analogowych (zwykle metalowych lub termistorowych), które wymagają indywidualnego lub grupowego wzorcowania oraz stosowania rozbudowanego okablowania i układów kompensacyjnych linii przesyłowej.

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.

Prowadzone są również badania dotyczące niekonwencjonalnych metod pomiarowych takich jak: termowizyjna metoda budowania obrazu rozkładu temperatur w komorze lub stosowanie czujników termometrycznych umieszczonych wraz z nadajnikami radiowymi wewnątrz metalowych kul. Prace te jednak, ze względu na swoje wady, nie znalazły zastosowań praktycznych.

W systemach monitorowania temperatury opracowanych w PIAP zastosowano inteligentne czujniki temperatury firmy Dallas współpracujące z dwuprzewodową siecią transmisyjną, która w publikacjach firmowych określana jest jako sieć 1-Wire [3].

Siec 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.

3. SYSTEM MONITOROWANIA TEMPMON

System monitorowania TEMPMON opracowany w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów jest ciągle rozwijany i udoskonalany. Doświadczenia eksploatacyjne oraz życzenia i sugestie aktualnych i przyszłych użytkowników systemu wyznaczają drogę tego rozwoju.

3.1. Rozwiązanie układowe

Główne kierunki modernizacji systemu zarówno w zakresie oprogramowania jak i sprzętu dotyczą następujących zagadnień:

1. Zwiększenie możliwości systemu odnośnie ilości obiektów objętych monitorowaniem. Umożliwienie monitorowania danych pochodzących z różnych, rozłożonych przestrzennie obiektów przechowalnictwa, takich jak: grupy elewatorów zadaszonych, silosów wolno stojących, płaskich magazynów przechowalnictwa zboża itp.
2. Zwiększenie ilości stacji komputerowych na których są prezentowane wyniki pomiaru. 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.
3. Sprzęgnięcie systemu z siecią INTERNET
4. Wykorzystanie transmisji radiowej w procesie gromadzenia i prezentacji danych.

Nowy system monitorowania przedstawiony został na rys. 1. Jest to system przestrzenie rozłożony zawierający mikrokomputery przeznaczone do realizacji lokalnych zadań zbierania danych. 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.

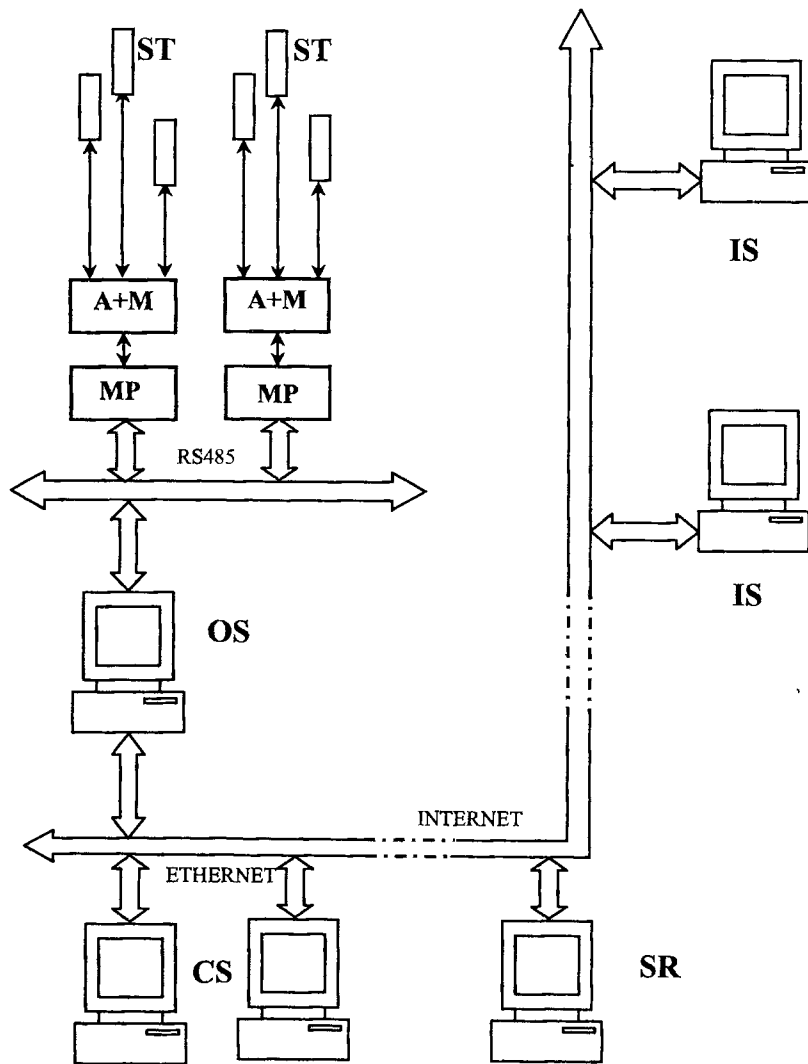
Mikroprocesory lokalne realizują następujące zadania:

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

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.

Każdy lokalny mikroprocesor jest węzłem zewnętrznej sieci transmisyjnej RS485.



- A+M – adapter oraz multiplexer linii 1-Wire
- MP – mikroprocesory lokalne
- ST – sondy pomiaru temperatury
- OS – główna stacja operatorska
- CS – lokalne stacje komputerowe
- SR – server sieci INTERNET
- IS – komputery w sieci INTERNET

Rys. 1. System monitorowania współpracujący z siecią INTERNET

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, gdyż sterowanie siecią 1-Wire, której adapter wymaga interfejsu RS232 odbywa się poprzez mikrokomputery lokalne znajdujące się w bliskiej odległości od adaptera.

3.2. Oprogramowanie

W skład zmodernizowanego oprogramowania systemu pomiaru temperatury wchodzi następujące programy użytkowe:

- program konfiguracji (TM-Configurator)
- program zbierania danych (TM-Collector)
- program wizualizacji (TM-Viewer),
- programy do współpracy z internetem

Oprogramowanie umożliwia:

- odczyt temperatur w wybranej komorze elewatora,
- wykonanie wydruku raportu dla pojedynczej komory,
- zbiorcze wyświetlenie temperatur dla wszystkich komór elewatora,
- wydruk zbiorczego raportu o temperaturach we wszystkich komorach,
- podgląd stanu termometrów i komór,
- konfigurowanie sieci pomiarowej,
- wizualizację stanów alarmowych sieci termometrów.

Funkcje użytkowe oprogramowania są rozdzielone między poszczególne aplikacje. Oznacza to, że grupy funkcji użytkowych mogą być realizowane niezależnie od siebie poprzez uruchomienie odpowiedniej aplikacji.

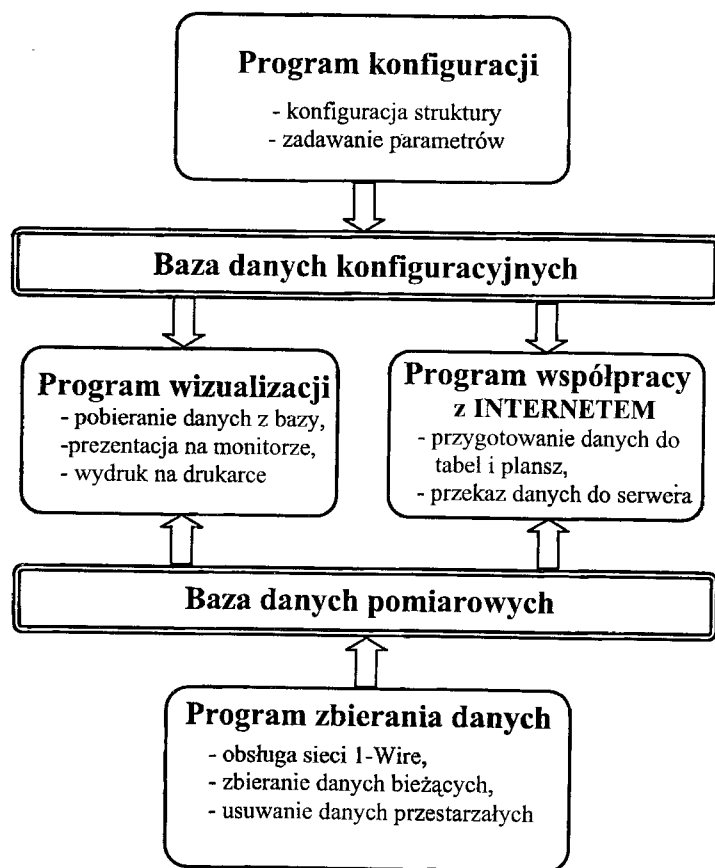
Program TM-Configurator przeznaczony jest do konfigurowania struktury i parametrów sieci pomiarów temperatury w elewatorze. Sieć zbudowana jest w oparciu o elementy systemu 1-Wire, produkowane przez firmę Dallas Semiconductor. Każdy z tych elementów ma możliwość komunikowania się przy użyciu protokołu sieci MicroLan.

Konfigurowanie polega na wpisywaniu do bazy TM-CfgBase danych charakterystycznych dla zainstalowanej w elewatorze sieci pomiarowej.

Program pozwala na wpisanie lub modyfikowanie danych dotyczących:

- identyfikatorów sieciowych i parametrów konfiguracyjnych dla elementów dołączonych do sieci MicroLan,
- aktualnej konfiguracji logicznej sieci pomiarowej, tzn. określenia logicznego stanu sond i czujników temperatury (odłączone / dołączone),
- wartości temperatur alarmowania i zakresów jej zmian przez użytkowników.

Program TM-Collector umożliwia konfigurowanie odczytu pomiarów temperatury z termometrów dołączonych do sieci MicroLan i zapisywanie ich w bazie danych pomiarowych. Program ten obsługuje protokół sieci MicroLan. Poprzez adapter typu DS9097U-9 dołączony do portu szeregowego, komunikuje się z częścią sieci MicroLan znajdującą się w elewatorze.



Rys. 2. Główne programy stacji operatorskich w systemie monitorowania temperatury

Program TM-Viewer przeznaczony jest do udostępniania danych pomiarowych bieżących i archiwalnych w postaci zestawień na monitorze i na drukarce. Realizuje on głównie funkcje użytkowe opisane na początku punktu 4.2.

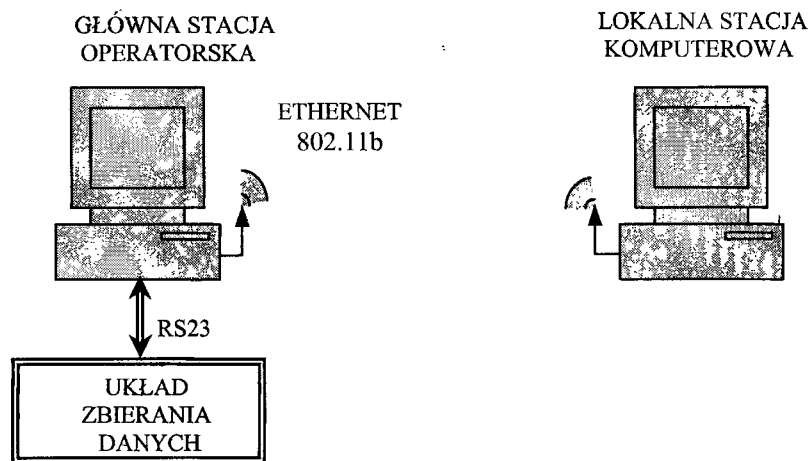
Programy współpracy z INTERNETEM obejmują zarówno oprogramowanie przeznaczone do pracy na głównej stacji operatorskiej systemu jak i programy przeznaczone do posadowienia na serwerze. Serwer jest wspólny dla wielu zakładów przechowalnictwa zbożowego podlegających wspólnemu zarządowi. Na głównej stacji pomiarowe w ustalonej zunifikowanej formie, przygotowywane są dane do serwera. Zdalna prezentacja danych za pośrednictwem serwera ma charakter zestawień tabelarycznych i jest uboższa od prezentacji udostępnianych użytkownikom na stacjach komputerowych wewnątrz zakładu.

Komunikacja z operatorem odbywa się za pomocą okien w systemie WINDOWS.

Transmisja radiowa danych w obrębie systemu monitorowania jest bardzo ciekawą alternatywą wszędzie tam, gdzie utrudnione jest poprowadzenie kabla pod ziemią lub gdy zależy nam na zachowaniu charakteru budynku i na eliminacji kabli oplatających ściany (rys.3.).

W systemie stosowane są typowe karty transmisji radiowej do komputerów PC. Możliwe są dwa standardy transmisji radiowej (sieć WLAN):

- zgodny z normą **IEEE 802.11** pozwalający na osiągnięcie prędkości transmisji 2Mb/s i odległości pomiędzy urządzeniami nadawczymi rzędu 30-60 m w pomieszczeniach zamkniętych (do kilkuset metrów na otwartej przestrzeni),
- modyfikacja **IEEE 802.11b** zezwala na transmisję z prędkością 11Mb/s w promieniu 25m w pomieszczeniach zamkniętych, a na otwartych przestrzeniach rzędu 150 - 250m.



Rys.3. Transmisja radiowa w obrębie zakładu przechowalnictwa zbożowego

4. DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE

Systemy monitorowania temperatury są ekonomicznie bardzo opłacalne, a obliczenia wskazują, że koszt ich instalacji zwraca się w czasie nie przekraczającym jednego roku. Temperatura jest najważniejszym parametrem środowiskowym pozwalającym wcześniej wykryć różne groźne nieprawidłowości w procesie przechowywania ziarna takie jak procesy metaboliczne, nadmierne zawilgocenie, rozwój szkodników itp. Ważne są również i inne parametry, a w szczególności wilgotność, zawartość gazów CO i CO₂, wysokość zasypu i inne. Przyszły rozwój systemów powinien ewoluować w kierunku pomiaru również i tych parametrów.

Zapewnienie poprawnej i niezawodnej pracy systemów monitorowania wymaga uwzględnienia szeregu uwarunkowań obiektowych.

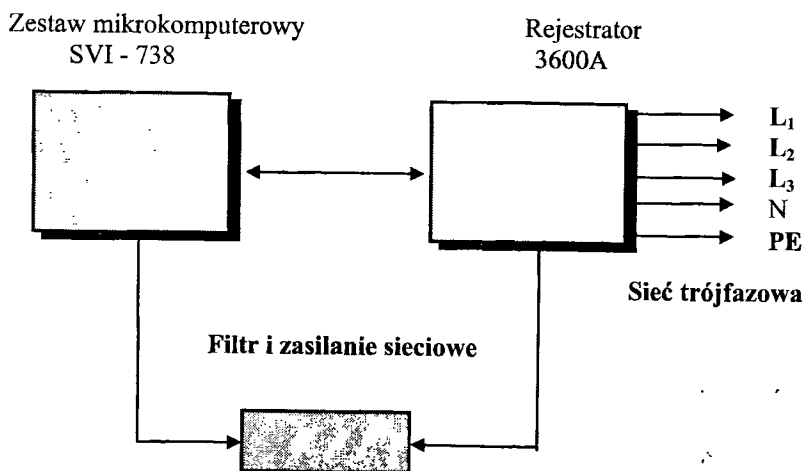
Ważnym zagadnieniem jest sposób zabudowy sond temperatury. W starszych obiektach zabudowa jest nieodpowiednia i wymaga obecnie znacznego wzmocnienia stropów, co znacznie zwiększa koszty instalacji systemu.

Ważnym zagadnieniem przy projektowaniu przemysłowych systemów monitorowania temperatury jest uwzględnienie wszystkich możliwych zakłóceń oddziałujących na system pomiarowy. Ogólnie można wyróżnić zakłócenia:

- zakłócenia elektryczne sieciowe,
- zakłócenia radiowe,
- zakłócenia mechaniczne,
- zakłócenia wywołane przez obsługę,
- zakłócenia wywołane przez gryzonie.

Zakłócenia sieciowe w zakładach przechowalnictwa zbożowego wywołane są na ogół dużą ilością napędów elektrycznych stosowanych we wszystkich urządzeniach technologicznych.

Przeciętny elewator jest odbiornikiem energii elektrycznej o mocy rzędu kilkuset kW. Najważniejszym odbiornikiem są podajniki pionowe i poziome. Podajnik kubełkowy (czepakowy) przenoszący ziarno z punktu przyjęciowego ziarna do wialni na wysokim piętrze elewatora ma moc od 17 kW do 22 kW. Przenośniki taśmowe i zgarniające (redlery) przenoszące ziarno na tym samym poziomie do poszczególnych komór lub silosów mają moc zależną od ich długości od 10 kW do 17 kW. W urządzeniach tych nie stosuje się łagodnych rozruchów typu $Y \rightarrow \Delta$ (przełączanie zasilania z gwiazdy na trójkąt), ponieważ podczas załączania nie są one obciążane. Podobnie w urządzeniach czyszczących – wialniach o mocy 10 kW sam ich napęd stanowi silnik o mocy 4 kW, ale urządzenie aspiracji ma wentylator o mocy 6 kW, który załączany jest bezpośrednio do sieci. Zakłady energetyczne zabezpieczają, w analizowanych przez nas obiektach, moc rzędu 320 kW. Pozwala to na pracę jednoczesną blisko połowy zainstalowanych urządzeń.



Rys. 4. Stanowisko PIAP do określania przepięć łączeniowych

W starszych elewatorach, zasilanie systemów monitorowania odbywa się bezpośrednio z ogólnej sieci energetycznej i stąd zagrożenie występującymi przepięciami jest większe. W elewatorach z własną siecią komputerową obecnie stosuje się wydzielone zasilanie z awaryjnym UPS.

Przepięcia w sieci energetycznej trójfazowej L_1, L_2, L_3, N, PE rejestrowano na specjalistycznym stanowisku komputerowym PIAP, rys.4.

Badania nasze ograniczyliśmy do analizy przepięć występujących w ogólnej sieci zasilania elewatora. Okres badań wynosił ok. 1 tygodnia. Wyniki badań przedstawione są w tablicy 1.

Tablica 1. Wartości przepięć łączeniowych i czas ich trwania

| Lp. | Wartość impulsu, V | Czas trwania, μs |
|-----|--------------------|-----------------------|
| 1. | 58 | 38 |
| 2. | 63 | 42 |
| 3. | 177 | 24 |
| 4. | 224 | 9 |
| 5. | 260 | 16 |
| 6. | 312 | 24 |
| 7. | 1490 | 8 |

Największy współczynnik przepięć jest wysoki i wynosi $k = 3,72$.

Zakłócenia radiowe wywołane są antenami nadawczymi instalowanymi na elewatorach, czasami w bardzo bliskiej odległości od sond i innych urządzeń pomiarowych. Kable sygnałowe prowadzone do sond temperatury są doskonałymi antenami wprowadzającymi indukowane w nich sygnały radiowe do dalszych urządzeń systemu. Zakłócenia radiowe mogą nie tylko wprowadzać zakłócenia do pracy systemu, ale nawet powodować trwałe uszkodzenia urządzeń systemowych. Zaobserwowano na przykład uszkodzenia tranzystorów typu CMOS, w iskrobezpiecznych barierach sygnałowych, wywołane zakłóceniami radiowymi indukowanymi w przewodach transmisyjnych. Wprowadzenie odpowiednich filtrów i zabezpieczeń przeciwprzepięciowych skutecznie wyeliminowało to zjawisko.

Zakłócenia mechaniczne spowodowane są drganiami i wibracjami konstrukcji budowlanej będącymi przeniesieniem drgań z pracujących urządzeń mechanicznych. Są one niebezpieczne dla połączeń przy użyciu łączówek oraz dla nastaw potencjometrycznych.

Przyczyną awarii może być także wysokie zapylenie i nieprzestrzeganie przez obsługę zaleceń wytwórcy. W warunkach zapylenia i braku odpowiedniego nadzoru zdarzają się awarie sprzętu komputerowego, a szczególnie myszy, klawiatury i drukarki.

Zakłócenia wywołane przez gryzonie, wywołujące uszkodzenie połączeń kablowych są czasami trudne do wykrycia. Na długich odcinkach instalacja powinna być poprowadzona w odpowiednich osłonach rurkowych. Gryzonie jednak często starają się dotrzeć do pomieszczeń sterowniczych, w których panuje wyższa temperatura i znajdują się szafki z aparaturą systemową. Do uszczelniania przepustów w szafkach sterowniczych należy stosować odpowiednie materiały zawierające na przykład włókno

szklane lub stosować w pomieszczeniach odpowiednie urządzenia do odstraszania gryzoni. Urządzenia takie zostały opracowane i są wytwarzane w Instytucie. Walka z gryzoniami, owadami i insektami jest ważnym problemem dla zakładów przechowalnictwa zbożowego, gdyż pasożyty wpływają na intensywność procesów metabolicznych, a wpływ ten jest trudny do wyeliminowania.

5. PODSUMOWANIE

W oparciu o doświadczenia eksploatacyjne można stwierdzić, że nowoczesne systemy monitorowania temperatury zrealizowane w PIAP w oparciu o inteligentne czujniki temperatury odznaczają się wysoką niezawodnością i dobrze pracują w trudnych warunkach środowiskowych. Posiadają dużą odporność na zakłócenia elektryczne i mechaniczne. Umożliwiają prostą i taną realizację układów monitorowania temperatury w dużych, przestrzennie rozłożonych obiektach, zapewniając łatwą możliwość prezentacji danych na wielu stacji komputerowych, a także przekazywanie bieżących danych do oddalonych stacji komputerowych poprzez INTERNET.

LITERATURA

- [1] Kobosko A.: Monitoring systems for protection against dust explosions, XVI IMEKO World Congress, Vienn Austria T26 str.9-15, 2000.
- [2] Kobosko A.: Przeciwybuchowe systemy monitorowania w przechowalnictwie rolniczym, PIAP Warszawa, 2003, str. 135.
- [3] Kobosko A., Pietrusiński Z.: „Złożone systemy monitorowania z inteligentnymi czujnikami temperatury”, materiały konferencji AUTOMATION 2004, Warszawa 24-26 marca 2004 r. str. 171-180.
- [4] Kobosko A., Pietrusiński Z.: "The intristically safe monitoring system with intelligent sensors", Materiały konferencji 10th IMEKO TC7, Proceedings 2, June 30 – July 2 2004, Saint-Petersburg, Russia, str. 280-285.