

1. WPROWADZENIE

Elektryczna aparatura pomiarowa przeciwwybuchowa, wykonana w technice iskrobezpiecznej, przeznaczona jest do stosowania w strefach zagrożonych wybuchem o niebezpiecznym stężeniu gazu z powietrzem, pyłów, cieczy itp. Przy spełnieniu wymaganych parametrów metrologicznych aparatura podczas normalnej pracy, a także w stanach awaryjnych, nie może spowodować zapłonu w otaczającej atmosferze. Mechanizm zapłonu powodowany nadmiernym wydzielaniem ciepła, powstaniem zwarcia i łuku elektrycznego nie może wystąpić, ponieważ w zastosowanej technice iskrobezpiecznej, w układach „samobezpiecznych” zwanych również iskrobezpiecznymi, nie dopuszcza się do wystąpienia wartości prądu i napięcia oraz wydzielanej mocy elektrycznej i energii, która by mogła spowodować takie zjawisko. Systemy monitorowania parametrów atmosfery w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem przeznaczone są do sygnalizacji możliwych zagrożeń, ale swoim działaniem, tym bardziej, nie mogą przyczynić się do powstania zagrożeń. Technika iskrobezpieczna była rozwijana w konstrukcji aparatury wykorzystywanej w górnictwie węglowym. Zdobyte doświadczenia z górnictwa starano się wykorzystać również w innych dziedzinach. Nie wszędzie jednak było to możliwe, ze względu na specyficzne warunki i wymagania. Do nich można zaliczyć zastosowanie systemów pomiarowych w przemyśle magazynowania produktów przetwórstwa rolniczego, a zwłaszcza ziarna zbóż. Problematyka ta powstała w ciągu ostatnich 20 lat, kiedy rozpoczęto budować coraz większe elewatory zbożowe i magazyny płaskie, a także baterie silosów. Z jednej strony dążyło się do uzyskania wysokich parametrów metrologicznych i regulacyjnych, z drugiej, notowano w tych obiektach coraz większą liczbę wypadków i eksplozji związanych z pracą urządzeń w warunkach silnego zapylenia spowodowanego dużym stężeniem pyłów zbożowych i procesów zachodzących wewnątrz składowanych produktów. Dlatego analiza wielu zagadnień występujących w magazynach zbożowych zmusza do uzyskania wyższego stopnia bezpieczeństwa pracy, zwiększenia jakości składowanych produktów, a także zmniejszenia energochłonności związanej z realizacją przyjętych technologii przechowywania.

W niedużych obiektach przechowalniczych można było w sposób łatwy ograniczać intensywność procesów termicznych w ziarnie. W nowoczesnych obiektach, o znacznie większej masie składowanego ziarna, procesy te uległy wyraźnemu wzrostowi. Stwarzają one obecnie zagrożenia polegające na obniżeniu jakości ziarna, a także mają wpływ na bezpieczeństwo obiektu magazynowego. Zachodzi zatem konieczność bieżącej kontroli stanu magazynowanych produktów oraz otaczającej je atmosfery. W pierwszych stosowanych układach pomiarowych wykonywano pomiary temperatury i wilgotności atmosfery wewnątrz magazynu. Obecnie, zastępowane są one przez wyspecjalizowane systemy monitorowania. W celu zapewnienia prawidłowej budowy systemu monitorowania i jego projektowania, konieczna jest dokładna znajomość wielu czynników, a w tym procesów metabolicznych występujących w masie składowanego ziarna. Procesy metaboliczne są przyczyną uwalniania energii cieplnej i chemicznej. Wzrasta temperatura ziarna i powyżej określonych wartości granicznych nadmiernie rosną straty magazynowe polegające na utracie siły kiełkowania, ubytku suchej masy, obniżeniu jakości ziarna itp. W przypadku braku kontroli temperatury ziarna może nastąpić jej gwałtowny wzrost prowadzący do samozapłonu i wybuchu w magazynie. Zjawisko jest groźne w skutkach. Eksplozje zdarzają się statystycznie raz w roku w skali europejskiej i w wielokrotnie większej skali na kontynencie amerykańskim.

Badania rozkładu pól temperaturowych w masie ziarna pozwalają na odpowiednie rozmieszczenia czujników temperatury w całej przestrzeni elewatorów. Wyniki badań

oddziaływań mechanicznych ziarna na temperaturowe sondy wieloczułnikowe są podstawą określenia wytrzymałości mechanicznej tych sond i ich konstrukcji. Analiza oddziaływań sond temperatury i innych czujników na ziarno umożliwia również ich ocenę pod względem toksykologicznym. Ma to istotne znaczenie ze względu na ich pracę w produktach żywnościowych.

W ostatnim dziesięcioleciu opracowano nowe normy i wymagania międzynarodowe precyzujące wymagania na metody składowania ziarna zbóż i kontrolę parametrów temperatury i wilgotności podczas ich magazynowania. Niektóre z tych wymagań budzą zastrzeżenia, ponieważ na obecnym etapie konstrukcyjnym i projektowym nie można ich jeszcze spełnić, a tym bardziej wymagać obligatoryjnie. Dlatego wymagają one weryfikacji na podstawie badań modelowych i obiektowych. Konieczne będzie również przeprowadzenie analizy obserwowanych w praktyce zjawisk.

Systemy monitorowania muszą spełniać zadania specyficzne dla tego przemysłu i oprócz wymagań środowiskowych muszą być odporne na wysokie zakłócenia przepięciowe, oddziaływania pól magnetycznych itp. wynikające z pracy urządzeń technologicznych, i napędów transportu wewnętrznego. Ma to wpływ na struktury systemu, rozkład przestrzenny aparatury pomiarowej oraz trasy transmisji sygnałów pomiarowych.

Badanie podanych wyżej zagadnień i problemów przyczyni się do lepszego rozeznania metod projektowania systemów monitorowania przeznaczonych do elewatorów zbożowych. Magazynowanie zbóż jest kierunkiem strategicznym w gospodarce żywnościowej kraju. Zboża przechowuje się w okresie do 5 lat z założeniem jak najniższych strat magazynowych. Można to osiągnąć przez projektowanie i konstruowanie odpowiednich systemów monitorowania. Projektowanie dotyczy nowego systemu i jego przeznaczenia z wykorzystaniem gotowych elementów oraz konstruowania nowych elementów i urządzeń opracowanych specjalnie na potrzeby tego systemu.

2. ANALIZA STANU WIEDZY I TECHNIKI

Rozpatrywana tematyka ma charakter interdyscyplinarny. Problematyką wytwarzania energii cieplnej w magazynach zbożowych zajmuje się fizjologia plonów rolniczych w dziedzinie przechowalnictwa. Pomiar i regulacja temperatury masy ziarna to domena metrologii i techniki automatycznej regulacji. Większość systemowej aparatury kontrolno-pomiarowej: czujniki i urządzenia wykonawcze jest opracowana w technice elektrycznej i hydraulicznej rzadziej pneumatycznej. W starszych konstrukcjach regulacyjnych spotyka się jeszcze regulatory bezpośredniego działania wykonane tylko w technice hydraulicznej.

Do pomiarów temperatury wewnątrz masy zbożowej stosowane są specjalistyczne elastyczne wieloczułnikowe sondy, których konstrukcja mechaniczna musi wytrzymywać duże obciążenia mechaniczne spowodowane tarciem ziarna w warunkach statycznych i dynamicznych. Budowa sond o niewielkich średnicach (16 mm) była do niedawna trudna do realizacji ze względu na możliwości wytwórcze fabryk kabli. Brak odpowiednich sond uniemożliwiało rozpowszechnianie systemów pomiarowych. Dlatego są one przedmiotem szczególnej obserwacji i analiz. Należy również zaznaczyć, że metrologia stosowana w produkcji roślinnej różni się od metrologii stosowanej w większości gałęzi przemysłu innymi definicjami parametrów. Dotyczy to np. pomiarów wilgotności, którą określa się w % zawartości wagowej wody w produktach rolniczych. W przechowalnictwie wilgotność wagowa produktów zawiera się w przedziale 3-30 %, a wilgotność względna otaczającego powietrza W_w - od 50-92 %. Na wykresach umieszczonych w normach międzynarodowych

podawane są często na jednej osi dwie wartości: wilgotność wagowa i ekwiwalentna wilgotność względna.

Stan wiedzy i techniki określono na podstawie przeglądu literatury z następujących dziedzin:

- technologii przechowywania ziarna zbóż,
- pomiarów temperatury składowanego ziarna,
- czujników i sond temperatury przeznaczonych do materiałów ziarnistych,
- systemów pomiarowo-kontrolnych,
- budowy aparatury kontrolno-pomiarowej w wykonaniu przeciwybuchowym,
- systemów jakości i bezpieczeństwa.

Aktualne materiały z tych dziedzin pochodzą z uczelni, instytutów i specjalistycznych laboratoriów. Zostały także zebrane w szwedzkim Instytucie Techniki Rolniczej w Upsali i w Instytutach Techniki Rolniczej w Niemczech (Poczdanie), w Rosji (Moskwa) oraz w Norwegii (As/Oslo). Najnowsze rozpatrywane publikacje pochodzą z kilku ostatnich Kongresów IMEKO. W ramach *study tour* zebrano również materiały informacyjne od ważniejszych producentów europejskich, amerykańskich i japońskich.

Według ustaleń komitetu redakcyjnego Kongresu IMEKO w Japonii [70] z czerwca 1999 r. tematyka monitorowania w elewatorach zbożowych została zakwalifikowana do „Bezpiecznych Pomiarów w Ochronie Środowiska”. W instytutach i uczelniach japońskich istnieją już odpowiednie zespoły zajmujące się „Bezpiecznym Monitorowaniem i Bezpiecznymi Układami Pomiarowymi” przeznaczonymi do obiektów o szczególnym zagrożeniu wybuchowym. Obecnie zakres prac tych ośrodków zostaje powiększony o zagadnienia niepewności wyników pomiarów.

2.1 Przegląd literatury

Z przeglądu literatury poświęconej technologii przechowywania ziarna zbóż wynika, że problemy wzrostu temperatury i zmian wilgotności ziarna przedstawione są w wielu publikacjach. Wyjaśniany jest w nich mechanizm występowania procesów metabolicznych i w konsekwencji tworzenia źródeł samozagrzewania. W pracy Sergunowa [106] założono kształt tworzącego się tego źródła w postaci kilku podstawowych figur geometrycznych. Dla tych źródeł rozpatrywano rozkład teoretyczny powstałych pól temperaturowych oraz porównano go z rozkładami rzeczywistymi wyznaczonymi doświadczalnie. Okazało się, że kształt źródeł ma znaczenie tylko w obszarze o najwyższej temperaturze. W dalszej odległości od źródła uwidaczniają się oddziaływania deformujące. Wynikają one z oddziaływań chłodzących elementów konstrukcji zbiorników ziarna i położenia warstwy lub przestrzeni grzejnej [60]. Są to stwierdzenia ogólne i wymagają uściślenia dla rozpatrywanych, rzeczywistych zbiorników.

Wymagania dotyczące parametrów ziarna podczas jego przechowywania znajdują się w licznych publikacjach z dziedziny produkcji roślinnej i fizjologii plonów. W starszych publikacjach podawane są tylko zalecane optymalne wartości temperatury i wilgotności ziarna [2, 25], w nowszych: Szyszły, Ciecki i Łysaka [4, 5, 87] parametry te odniesione są do okresu składowania. W normach [119, 120], rozporządzeniu [150] i uzgodnieniach międzynarodowych [50] podawane są wykresy precyzujące jakość ziarna w funkcji jego temperatury i wilgotności oraz otaczającego powietrza. W badaniach zgodności normatywnej nowych konstrukcji [47, 54] wystąpiły duże różnice, których przyczyną było przyjęcie tych samych wymagań na sondy temperatury do elewatorów oraz na sondy przeznaczone do magazynów płaskich.

Aktualna wartość przyrostu temperatury ziarna i otaczającego je mikroklimatu w magazynie odniesione do jednostki czasu pozwalają ocenić intensywność procesów metabolicznych. Najnowsze badania intensywności tych procesów prowadzone były na podstawie pomiarów wydzielania CO i CO₂ oraz analizy mikrobiologicznej, chromatograficznej i jakościowej prowadzonej pod kierownictwem Kamińskiego i Fornalowej z udziałem autora [14, 15, 32, 33, 34]. Te badania wskazują również na przyczyny powstawania kilku nowych źródeł samozagrzewania, ale nie wnoszą zasadniczych zmian dotyczących przedziału zalecanych wartości temperatury i wilgotności. Dlatego w dalszej analizie ograniczono się tylko do danych przedstawionych w Raporcie FAO [119], a także w pracach Chotkowskiego i Szyszły oraz Łysaka [5, 87].

Układy pomiaru temperatury ziarna zbóż przedstawiane zostały w publikacjach specjalistycznych z suszarnictwa opracowanych przez Pabisa [93] i wielu innych autorów publikacji z przechowywania zbóż [2, 4, 18, 20, 25 118]. Opisywane układy pomiarowe wyposażono tam w sondy temperatury ze zdalnym odczytem. Sondy jedno i wieloczułnikowe, o przeznaczeniu uniwersalnym, w nowszych opracowaniach zastąpione zostały przez wieloczułnikowe sondy elastyczne. Konstrukcja sond pomiarowych o dużej wytrzymałości mechanicznej oraz trudności w uzyskaniu odpowiednich miniaturowych czujników temperatury stanowiły trudny problem technologiczny, od którego zależało rozpowszechnienie metody pomiarowej. Także rozmieszczenia czujników i zawieszenie sond stanowiły trudne problemy techniczne [35 + 76]. Taka sytuacja w kraju spowodowała, że mimo przekonania o niezbędności systemów pomiarowych, zainstalowano je tylko w około 30% ogólnej liczby magazynów. Ważną rolę odgrywają wymagania niewielkiej średnicy sondy przy zachowaniu jej wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Badania analityczne zweryfikowane są na podstawie wyników badań eksperymentalnych i obiektowych, wykonanych pod kierownictwem Horabika i Molendy oraz Rossa, [21, 90, 104, 105] i pozwoliły określić wytrzymałość mechaniczną w zależności od średnicy sondy i zbiornika, miejsca zawieszenia w zbiorniku itp. Badania te prowadzone były przy założeniu, że składowane zboże jest suche. W praktyce nie zawsze jest to prawdziwe, a zboże ze zbiorów kombajnowych jest często bardzo wilgotne. Należy, więc spodziewać się znacznego wzrostu obciążeń dynamicznych działających na sondy pomiarowe, co potwierdziły badania autora [72]. Badania Kusińskiej i Zubrzyckiego dotyczące rozkładu sił i ich wartości działających na ściany silosów [83,117] wykazały również duży wpływ wilgotności ziarna zwiększającej te wartości.

Pierwsze układy pomiarowe temperatury wykonane były w technice analogowej. Według Żuvela [118] i przy dostępnej jeszcze aparaturze pomiarowej można tę technikę stosować w małych obiektach. W dużych układach i systemach monitorowania kontrolujących wiele innych parametrów, jak wilgotność, wysokość zasypu ziarna i parametry mikroklimatu magazynu, stosowane są obecnie systemy mikroprocesorowe z magistralą z interfejsem RS [6, 114]. Czujniki i sondy pomiarowe pracują w strefie o największym zapyleniu, to jest wewnątrz komory elewatora, muszą więc spełniać wymagania iskrobezpieczeństwa potwierdzone odpowiednimi atestami [122+128, 131, 140, 141]. Ponieważ sondy z przetwornikami i koncentratorami sygnałów pracują bezpośrednio w strefie o podwyższonym zapyleniu, muszą również posiadać odpowiednią konstrukcję dostosowaną do pracy w strefie niebezpiecznej. Sondy z miniaturowymi czujnikami temperatury osiągnęły już kres konstrukcyjny, ponieważ nie mogą mieć mniejszej średnicy. Wynika ona z wymiarów miniaturowych czujników oraz z założonej wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Dlatego czynione są próby z nowymi czujnikami optoelektronicznymi i liniami światłowodowymi [3, 13, 99], które w przyszłości będą mogły zastąpić dotychczasowe sondy „klasyczne”.

Układy pomiarowe w elewatorach z komorami z wymuszoną wentylacją współpracują z układami regulacyjnymi. Dlatego bardzo ważna jest identyfikacja obiektu i wyznaczenie charakterystyki odpowiedzi na skok jednostkowy i charakterystyki częstotliwościowej. Pierwsze takie badania wykonane zostały przez zespół pod kierownictwem Müllera [36]. Zastosowano w nich oryginalną, izotopową metodę pomiaru przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Badania te mogą być przydatne przy kompleksowym projektowaniu systemów pomiarowo-kontrolnych.

Wartości i zakresy parametrów układów i systemów pomiarowych do elewatorów zbożowych podawane są w monografiach analizujących ich pracę [47, 71]. Parametry podstawowe (w tym dokładność i powtarzalność) są podawane w normach i prospektach firmowych [121, 147, 148]. Trudniej znaleźć informacje dotyczące wartości błędów granicznych. Są one pomijane również ze względów konkurencyjnych. Dlatego własne badania autora dotyczyły sprawdzania charakterystyk funkcjonalnych i właściwości metrologicznej oraz odporności i wytrzymałości na narażenia środowiskowe, a także kompatybilności elektromagnetycznej (KEM) [138]. Doprowadziły one do określenia rzeczywistych wymagań środowiskowych, pomiarów różnego rodzaju zakłóceń i ich wpływu na pracę układów pomiarowych. Następnie przeprowadzono testy porównawcze różnych konstrukcji. Na tej podstawie zostały określone wymagania na elementy systemu monitorowania: czujniki i sondy pomiarowe oraz przyjęto struktury systemu.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń projektowania, instalowania i eksploatacji wielu układów pomiarowych i monitorowania zaproponowano kilka procedur projektowania systemów w obiektach magazynowych przemysłu zbożowego. Zwrócono szczególną uwagę na dobór właściwych parametrów układu i systemu oraz na przygotowanie obiektu do zainstalowania poszczególnych elementów. Szczególną uwagę zwrócono na montaż elastycznych sond temperatury [53, 154]. System monitorowania przeznaczony jest do pracy w atmosferze wybuchowej magazynu zbożowego i dlatego musi spełniać dodatkowe wymagania potwierdzone odpowiednimi certyfikatami.

Większość publikacji autora mieści się w pierwszych z sześciu grup tematycznych, wymienionych na początku niniejszego rozdziału. Publikacje indywidualne autora dotyczą różnych metod pomiarowych, czujników i przetworników temperatury oraz systemów monitorowania. Publikacje zespołowe z zakresu technologii przechowywania, ze współudziałem autora, obejmują różne metody oceny intensywności procesów metabolicznych składowanego ziarna. W opublikowanych pracach autor zajmował się opracowaniem i wdrożeniem odpowiedniej aparatury pomiarowej do prowadzonych badań. Najnowsze publikacje autora dotyczą czujników temperatury z wyjściem cyfrowym, systemów iskrobezpiecznych z tymi czujnikami oraz techniki optoelektronicznej stosowanej w konstrukcji sond temperatury przeznaczonych do dużych elewatorów zbożowych [70, 71, 72, 78, 156].

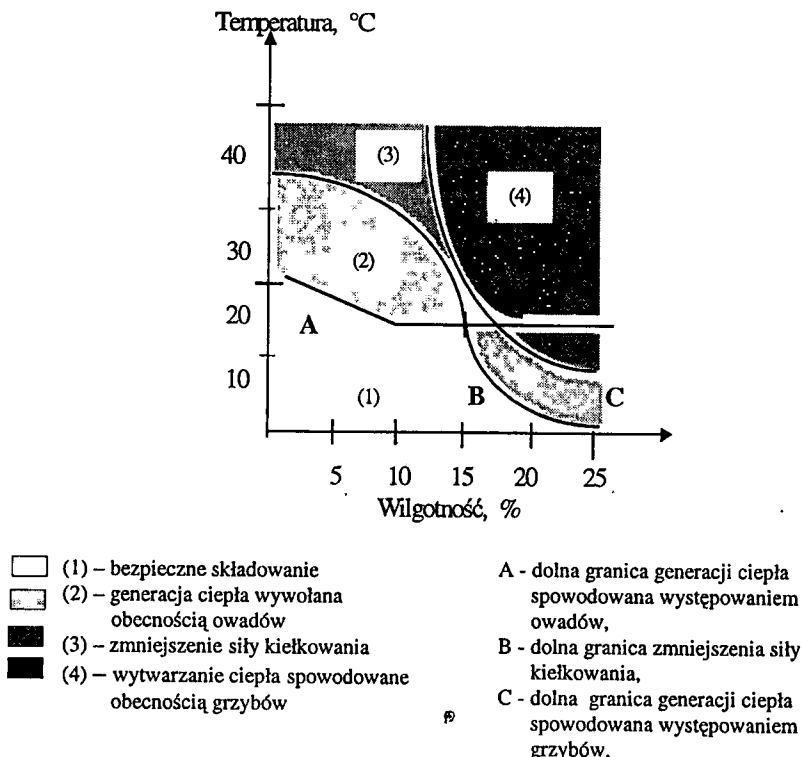
2.2 Warunki przechowywania ziarna zbóż

W ziarnie zbóż w wyniku procesów metabolicznych występują ilościowe i jakościowe straty przechowywania, które powodują obniżenie wartości użytkowej oraz ubytek masy ziarna. Wartość strat zależy od wielkości wytwarzanej energii cieplnej i wilgotności składowanego ziarna: im wyższa temperatura i wilgotność ziarna, tym straty te są wyższe. Według informacji z Centralnego Laboratorium Przechowywania i Przetwórstwa Zbóż – CLTPiPZ - straty magazynowe wahają się w granicach od jednego do kilku procent w zależności od warunków składowania. W dużych magazynach i elewatorach, zwanych

również domami składowymi, przechowuje się zaledwie 15 % całkowitej produkcji roślinnej i w tym przypadku straty są pod kontrolą. Znaczna jednak część zboża jest źle składowana i straty magazynowe są znacznie większe. Przyczyna tkwi w małej liczbie, odpowiednio wyposażonych, magazynów zbożowych.

Polska jest liczącym się producentem zbóż. W 1998 r. zebrano 8919 tys. ton pszenicy (dziewiąte miejsce w skali światowej), 6166 tys. ton żyta (pierwsze miejsce w świecie) oraz jęczmienia i kukurydzy na poziomie ósmego miejsca w świecie [158]. Eksport produkcji roślinnej i jej przetworów stanowi kilkanaście procent całego eksportu krajowego i jest prawie trzykrotnie większy niż węgla, dlatego dąży się do jak najmniejszych strat magazynowych.

Przebieg w czasie wytwarzania ciepła z masy ziarna ma charakter wykładniczy, tzn. przy małych wartościach temperatury i wilgotności wydziela się niewiele energii, ale w miarę ich wzrostu intensywność wydzielania gwałtownie rośnie, co w ekstremalnych przypadkach prowadzi do samozapłonu masy ziarna i eksplozji w magazynie. Podobne zjawisko samozapłonu występuje często podczas suszenia trawy i innych produktów roślinnych powodując często groźne pożary. W Raporcie FAO [119] podawany jest wykres 4 stref zależnych od temperatury i wilgotności, rys. 1. Strefy te określają przebieg procesów występujących w składowanym ziarnie. Nawet przy stałej temperaturze składowanego ziarna wzrost wilgotności obniża dozwolony czas jego przechowywania.



Rys. 1. Zakres stref wyróżnionych dla procesu przechowywania ziarna [119]

2.3 Zagrożenia wybuchowe pyłów zbożowych i przyczyny eksplozji

W atmosferze silnego stężenia pyłu ziarna brak kontroli temperatury lub zły nadzór może przyczynić się do groźnych eksplozji. Statystyki podają następujące informacje, że w ostatnich 10 latach zanotowano w kraju kilka groźnych eksplozji między innymi w krajowych elewatorach: w Wąbrzeźnie i Ujazdowie Górnym [115]. W Stanach Zjednoczonych, w kraju o największej liczbie elewatorów, w latach 1957-1990 miało miejsce 1085 eksplozji pyłu zbożowego. Zginęło 640 osób. Straty szacowane są na ponad 100 mln USD. W Europie szacuje się liczbę wybuchów na jeden w roku w skali kontynentu. Energia wydzielona podczas eksplozji 1 kg pyłu zbożowego w mieszaninie powietrza jest od 3 do 5 razy większa niż energia eksplozji 1 kg TNT–trotylu, a podatność eksplozyjna jest od 20 do 50 razy większa niż pyłu węglowego. W tablicy 1 porównano parametry wybuchowości pyłów zbożowych i węglowych. W tablicy 2 przedstawiono parametry pyłów najważniejszych zbóż. Wynika z niej, że najbardziej podatna na wybuch jest pszenica, ryż, następnie jęczmień, owies i kukurydza. W tablicy 3 podane są klasyfikacje według dyrektywy ATEX 100A [151].

Tablica 1. Porównanie parametrów wybuchowości pyłów zbożowych i węglowych

Rodzaj pyłu	Temperatura zapłonu, °C	Dolna granica wybuchowości, mg/dm ³	Maksymalne ciśnienie wybuchu, MPa
Węglowy	300	250	0,84
Zbożowy	420	100	0,70

Tablica 2. Ważniejsze parametry pyłów zbóż [66]

Typ pyłu	Min. energia zapłonu, mJ	Min. temperatura zapłonu, K	Min. stężenie zapłonu, mg/dm ³	Maks. ciśnienie wybuchu, MPa
1. pszenica	30	723	125	0,75
2. żyto	80	532	56	0,41
3. jęczmień	60	573	693	0,52
4. owies	60	623	750	0,60
5. kukurydza	60	673	60	0,78
6. ryż	40	505	60	0,60

Tablica 3. Klasyfikacje przewidywane w dyrektywie ATEX 100A [151]

Grupa urządzeń	Kategorie	Substancje palne	Porównanie z IEC
I Podziemia kopalń	M1	metan	grupa I
	M2	pył węglowy	grupa I
II Powierzchnia, Inne przemysły	1	gazy pary, mgły pyły	Z0, Z20
	2		Z1, Z21
	3		Z2, Z22

W tablicy występują następujące oznaczenia: kategorie M1 i M2 – kategorie wybuchowości, grupy Z0 +Z22 – strefy zagrożone wybuchem.

Przyczyny eksplozji pyłu w elewatorach zbożowych są następujące:

- * wytworzenie wysokiej temperatury i pola temperaturowego w masie składowanego ziarna w wyniku zachodzących w nim procesów metabolicznych,
- * powstanie punktów i przestrzeni zapłonowych, spowodowane wadliwą pracą urządzeń: transportowych, technologicznych, suszarń itp.,
- * zaproszenie ognia przez obsługę, np. podczas spawania, cięcia metali, otwarty ogień,
- * wady urządzeń elektrycznych (iskwienie lub nadmierna temperatura),
- * elektryczność statyczna,
- * ogniska tłącego się pyłu lub innych materiałów.

Wysoka temperatura ma następujący wpływ na składowane ziarno:

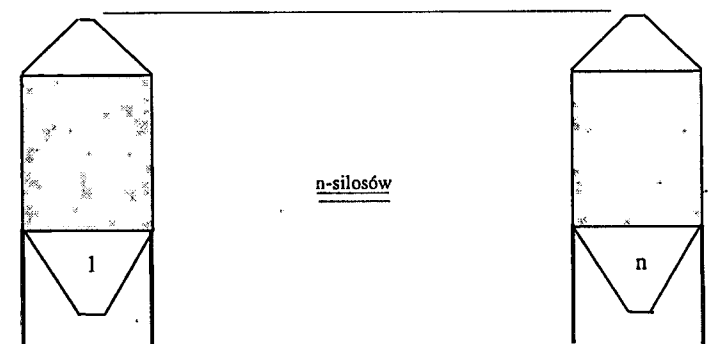
- * spada jakość ziarna oraz siła jego kiełkowania, rys. 1,
- * może doprowadzić do samozapłonu ziarna (w skrajnych przypadkach),
- * podczas reakcji termicznej w ziarnie o dużej wilgotności może przekształcić się ono w płynną masę, która po wyczerpaniu energii termicznej ochładza się tworząc zbrylenie,
- * rozbijanie jeszcze ciepłej zbrylonej masy jest możliwe ale wysoce niebezpieczne dla obsługi: zdarzają się oparzenia i zatrucia tlenkiem węgla,
- * utylizacja silosu lub komory elewatora po ich ostudzeniu jest trudna i wymaga stosowania młotów pneumatycznych, a koszt prac jest bardzo wysoki i zależy od wysokości osiągniętej temperatury samozagrzewania.

2.4 Budowa magazynów zbożowych oraz monitorowanie parametrów przechowywania

Ziarna zbóż i nasion są przechowywane w następujących rodzajach magazynów: w silosach, w elewatorach i w magazynach płaskich.

Silosy o charakterystycznym kształcie, przedstawione na rys. 2, ustawiane są pojedynczo lub rzędowo w bateriach składających się z kilku lub kilkudziesięciu pojedynczych silosów. Mogą być umieszczane wewnątrz hali lub na otwartej przestrzeni. Wykonywane są z blachy aluminiowej, stalowej, betonu również z drzewa. Baterie silosów mogą być wyposażone w

aktywną wentylację. Buduje się również całkowicie szczelne silosy gazowe, w których materiał jest składowany w atmosferze azotu, dwutlenku węgla itp. Baterie silosów budowane są w kraju od niedawna, w niewielkich przedsiębiorstwach produkcji roślinnej. Najważniejsze magazyny zbożowe to elewatory (rys. 3). W dokumentach międzynarodowych elewatory określone są nazwą magazynów wysokich. Elewatory składają się z komór o różnych kształtach, często zbliżonych do silosów. Wysokość komór zbudowanych z żelbetu sięga do kilkudziesięciu metrów. W skład jednego elewatora może wchodzić nawet kilkadziesiąt komór. Mają one wspólne zadaszenie tworząc samodzielny budynek, często ustawione są w pobliżu młyna. Zboże przechowuje się w nich okresowo, przez kilka miesięcy. Elewatory najczęściej nie mają wentylowanych komór i w przypadku stwierdzenia przechowywania zboża w nieodpowiednich warunkach, objawiających się za wysoką temperaturą, wilgotnością itp., przeprowadza się w nich odpowiednie zabiegi technologiczne. Z reguły zboże jest przesypywane do wolnych komór rezerwowych. Nowsze elewatory są wyposażone w agregaty wentylacyjne przesuwane na szynach kolejowych. Są one przeznaczone do okresowej wentylacji wybranych komór. W niewielkich silosach i magazynach płaskich pomiar temperatury przeprowadza się za pomocą wsuwanych w ziarno sond laskowych. Odczyt temperatury może być miejscowy na mierniku zabudowanym w sondzie. W nowszych rozwiązaniach odczyt jest zdalny, bezprzewodowy. W komorach elewatorów zbożowych zawieszają się elastyczne sondy wieloczułnikowe temperatury, rys. 3. Sygnały z sond, po ich przetworzeniu, doprowadzone są do jednostki centralnej – komputera umieszczonego w wydzielonym pomieszczeniu. Odległość od sond do komputera wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset metrów.



Rys. 2. Magazyn złożony z baterii n-silosów

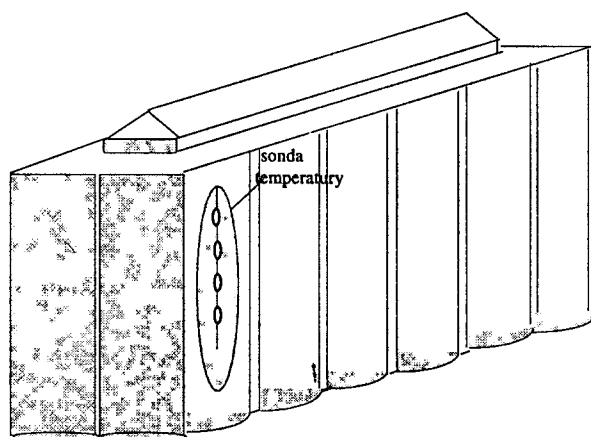
Na monitorze można odczytać wartości temperatur w poszczególnych komorach, przyrosty dzienne, tygodniowe itp. Poza pomiarem temperatury, który jest tu najważniejszy, w systemach monitorowania mierzone są również wartości wilgotności ziarna i otaczającego powietrza, wysokości zasypu (ciężaru) ziarna w komorach elewatora itp. Jeśli w obiektach stosowana jest aktywna wentylacja, to systemy pomiarowo-kontrolne rozbudowane są o funkcje regulacyjne.

Znaczący procent masy ziarna zbóż jest przechowywany w magazynach płaskich. Magazyny te zwane są również magazynami poziomymi lub horyzontalnymi. Mają kształt hal wykonanych z żelbetu lub cegły. Zboże składowane jest na podłodze, a wysokość przyzmy

sięga kilku metrów. W przypadku stwierdzenia zbyt wysokich temperatur w warstwie zboża, przesypuje się je do innego miejsca w magazynie.

Nowsze magazyny mają systemy aktywnej wentylacji. Oprócz układów monitorowania stosowane są układy automatycznej regulacji. Warstwa ziarna umieszczona jest na ruszcie z desek drewnianych. Pod ruszt wentylatory włączają powietrze o odpowiednich parametrach wilgotności i temperatury, rys.4. Nad wentylatorem znajdują się klapy wentylacyjne sterowane automatycznie za pomocą siłowników elektrycznych lub pneumatycznych. Ustawienie klapy pod odpowiednim kątem powoduje wymieszanie się powietrza z nadpryzmy ziarna z powietrzem atmosferycznym. Dzięki temu nie dopuszcza się do wentylacji zbyt zimnym powietrzem, co mogłoby spowodować zawilgocenie ziarna, przemrożenie lub tylko „przeziębienie” powodujące większe straty jakościowe.

Magazyny płaskie mogą składać się również z wydzielonych boksów i oddzielnie wentylowanych. W zależności od potrzeb, magazyn płaski może być wykorzystywany uniwersalnie, w jednym okresie do przechowywania warzyw i owoców, w drugim do ziarna i ziemniaków oraz innych produktów.



Rys. 3. Pomiar temperatury w elewatorze, za pomocą zawieszanych sond elastycznych

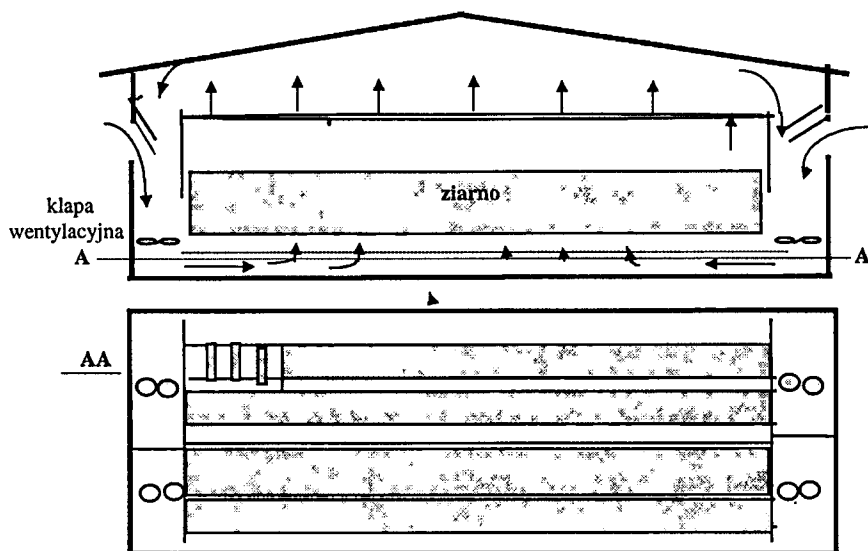
2.5 Kierunki światowych badań naukowych i realizacji technicznej

Badania naukowe, które są przedmiotem analizy w niniejszej pracy, obejmują następujące problemy:

- * metabolizmu w składowanym ziarnie i metod ograniczenia jego intensywności,
- * badania obiektu rzeczywistego i badania modelowe,
- * ustalenia metod pomiarowych,
- * projektowania i konstrukcji elementów, układów i systemów pomiarowych i UAR.

Badania metabolizmu w procesie przechowywania ziarna zbóż prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych europejskich, amerykańskich i rosyjskich. Ponieważ rezultatem przemian metabolicznych jest zmiana temperatury składowanego ziarna, więc analizowano

tylko badania, w wyniku których wyznaczano rozkład temperatury w masie ziarna. W pracach badaczy rosyjskich, których wyniki opublikował Sergunow [106], przedstawione są analitycznie wyznaczone pola temperaturowe w składowanym ziarnie, które są następnie weryfikowane w badaniach na obiektach rzeczywistych. Zakładano, że pola te generowane były przez źródła samozagrzewania o różnym kształcie geometrycznym i następnie wyznaczano izotermy.



Rys. 4. Magazyn płaski z aktywną wentylacją

Badania niemieckie prowadzone w kilku uniwersytetach przyczyniły się do opracowania modelu obiektu. Wyznaczono charakterystyki temperaturowe w odpowiedzi na skok jednostkowy załączający wentylację i częstotliwościową zmianę przepływu powietrza przez ziarno składowane w silosie [36]. Oryginalna metoda badania przepływu powietrza z domieszką izotopu umożliwiła analizę i optymalizację systemu wentylacji.

W Kanadzie i USA prowadzone są badania rozkładów przestrzennych pól temperaturowych wewnątrz silosów. Zespół pod kierownictwem Rossa [104, 105] oprócz oryginalnych badań temperaturowych ustalił również wpływ oddziaływania mechanicznego ziarna na zawieszoną w niej sondę temperatury. Badania symulacyjne i wykonywane w warunkach rzeczywistych na modelach silosów (binów) pozwoliły ustalić zależności analityczne wpływu zawieszenia sondy temperatury w silosie w zależności od odległości od osi symetrii silosu. Ustalono również wpływ wartości średnicy sondy na działające na nią siły zrywające. Te bardzo interesujące badania przyczyniły się również do zmian konstrukcji silosów i elewatorów. Szwedzi prowadzili próby z różnymi metodami pomiarowymi temperatury w elewatorze. Badano telemetryczny system pomiaru temperatury. Czujniki temperatury z nadajnikami radiowymi umieszczone były w niewielkich kulach wrzucanych do silosów podczas ich załadunku zbożem. Problemem był przypadkowy rozrzut przestrzenny kul, które trudno było zlokalizować oraz odzyskać podczas rozładunku zboża. Dlatego nie rozpowszechniono tej metody. Podejmowano również próby z pomiarami termowizyjnymi. Zdały one egzamin w małych silosach, ale nie sprawdziły się w dużych komorach elewatora,

gdzie nie można było spenetrować kamerą wewnętrzną warstwy zboża. Dzięki pomiarom termowizyjnym określono zewnętrzny przebieg pól temperaturowych otaczających komory elewatora, w których występuje intensywne grzanie ziarna. Powtarzalność pomiarowa jest niewielka, ponieważ zależy ona od pozycji źródła samozagrzewania wewnątrz zbiornika, dlatego też ta metoda nadaje się do małych zbiorników.

W kraju stosowano powszechnie metodę zdalnego pomiaru za pomocą sond elastycznych. Początkowo instalowano w elewatorach zbożowych układy pomiarowe duńskiej firmy Foss Electric [154], a później już układy i systemy krajowe. Prowadzono prace badawcze (w kilku ośrodkach krajowych) nad uzyskaniem wysoko wytrzymałych sond temperatury w wykonaniu iskrobezpiecznym oraz komputerowych systemów monitorowania i ich realizacji technicznej. Są one przedstawione w dalszej części pracy.

2.6 Stan normalizacji na świecie i w kraju

Układy pomiarowe temperatury do elewatorów zbożowych objęte są międzynarodową normą [120]. Wydanie drugiej tej normy pt. „Przechowywanie ziarna zbóż i roślin strączkowych. Arkusz 2: Praktyczne zalecenia” zastępuje pierwsze wydanie normy ISO z 1979 r. Powstała ona przy ścisłej współpracy z IEC.

W normie przedstawiono wytyczne dotyczące pomiarów temperatury ziarna zbóż składowanego w silosach lub w innych magazynach (w magazynach płaskich, w elewatorach itp.), w których ziarno jest nie opakowane i znajduje się w dużych ilościach. Przewiduje się rozmieszczenie w masie ziarna sond temperatury w celu wykrycia i monitorowania zmian jej temperatury. Do małych magazynów (magazynów płaskich) przeznaczona jest aparatura przenośna lub stacjonarna, do dużych magazynów (elewatorów) – aparatura stacjonarna specjalnego przeznaczenia. Sondy mogą być laskowe, zbudowane ze sztywnej rury i zanurzone w masie ziarna w silosach lub w pryzmie w magazynach płaskich lub wieloczuJNIKOWE w kształcie elastycznych kłbli, przeznaczone do dużych zbiorników horyzontalnych (elewatorów i wysokich silosów). Sondy te muszą mieć wysoką wytrzymałość mechaniczną ze względu na duże obciążenia występujące podczas załadunku i rozładunku zboża. Powinny też być zakotwiczone elastycznie w komorze elewatora tak, aby przesunięcia sondy nie były znaczne. Dla sond elastycznych norma przewiduje maksymalną wartość siły rozciągającej dochodzącej do 30 kN. Procedura pomiarowa podana w normie przewiduje spełnienie następujących kryteriów:

- * Do pomiaru temperatury powinno się stosować czujniki termistorowe, termoelementy lub czujniki rezystancyjne.
- * Czułość temperaturowa powinna być na tyle wysoka, aby zapewnić wykrycie zmian temperatury o 0,5 °C w zakresie temperatury pracy do +70 °C i wartości dolnej ograniczonej do lokalnej temperatury zewnętrznej.
- * Po zanurzeniu sondy w masie ziarna czas osiągnięcia ustalonej temperatury nie powinien przekroczyć 3 min.
- * Punkty pomiarowe w masie ziarna (czujniki temperatury) powinny być w odległości 3m od siebie w każdym kierunku.
- * Górne punkty pomiarowe, dla magazynów wysokich, powinny znajdować się w odległości 1- 2m poniżej powierzchni pryzmy ziarna.
- * Górne punkty pomiarowe dla magazynów płaskich mogą być umieszczone ok. 0,3 m poniżej powierzchni ziarna.

- * Punkty pomiarowe powinny być umieszczone w regularnych odstępach wzdłuż długości sondy pomiarowej i przy uwzględnieniu odpowiednich odległości od ścian, podłogi i górnego sklepienia komory elewatora, zbiornika itp. i przy zachowaniu stałej odległości w stosunku do osi symetrii magazynu (silosu, komory elewatora itp.).

Norma podaje również wymagania na pracę systemów regulacyjnych silosów z wymuszoną wentylacją. Przewiduje się ściśle określony czas pracy wentylatorów, nie dłuższy niż 30-45 min. Dłuższy czas pracy może spowodować uszkodzenie ziarna. Dla dużych instalacji pomiarowych norma przewiduje wydzielone pomieszczenie kontroli, w którym znajdują się przyrządy pomiarowe, komputer itp., za pomocą których prowadzi się następujące pomiary:

- * analogowy lub cyfrowy pomiar ręczny lub automatyczny z rejestracją temperatury,
- * sygnalizacja zmian temperatury w stosunku do wartości zadanych,
- * synoptyczny schemat magazynu z zaznaczeniem sond i punktów pomiarowych, z których odczytuje się aktualnie temperaturę,
- * automatyczną kontrolę temperatury ze skanowaniem punktów pomiarowych,
- * rejestrację temperatury, np. co 6, 12, i 24 godziny.

Przedstawiona norma w stosunku do pierwszej wersji z 1979 r. uściśla niektóre wymagania stawiane sondom pomiarowym, zwiększając wytrzymałość mechaniczną na zrywanie sond elastycznych z 30 kN do 50 kN.

W krajach Unii Europejskiej, na przykładzie Szwecji i Niemiec, obowiązuje sporządzenie dziennego raportu temperatury występującej we wszystkich komorach elewatora. Forma raportu jest określona normami jakościowymi przechowywania ziarna.

W Polsce brak jest oddzielnych przepisów normalizacyjnych i korzysta się z podanego Raportu FAO oraz normy ISO [120], a także wymagań przedstawionych w rozdz. 4 niniejszego opracowania. Były one wielokrotnie publikowane w czasopiśmie specjalistycznych [58, 79]. Opisy wymagań i realizacji układów pomiarowych w elewatorach zbożowych znajdują się w publikacjach J. Łysaka z CLTPiPZ [87]. W IBMER zostały również wydane dwie monografie z dziedziny pomiarów w przechowywalnictwie rolniczym [42, 50]. W PIAP wydano również kilka publikacji monograficznych z zakresu pomiarów w elewatorach zbożowych [62, 66, 71]. W ramach komisji RWPG dot. automatyzacji i robotyzacji rolnictwa powstał, z wiodącym udziałem Polski, dokument międzynarodowy [50] ustalający wymagania na parametry mikroklimatu w przechowywalnictwie rolniczym oraz uzgodniono wymagania na aparaturę. Dokument ten różni się nieznacznie od raportu FAO. Przyjęto większy zakres temperatury przechowywania produktów rolniczych ze względu na duże różnice klimatyczne występujące w obszarach krajów RWPG, oraz określono wspólne wymagania na zunifikowaną aparaturę kontrolno-pomiarową. Tematyka budowy aparatury kontrolno-pomiarowej do pomieszczeń zagrożonych wybuchem ujęta jest przepisami podanymi w licznych normach krajowych i międzynarodowych. Wykaz norm, wymagań i komentarzy znajduje się w publikacjach J. Frączka [16, 17] oraz w rozdz. 12 niniejszego opracowania [122+128, 131]. Z publikacji zagranicznych należy wyróżnić „Przewodnik konstrukcji obwodów iskrobezpiecznych” wydany przez brytyjską firmę MTL [155]. Znajdują się w nim przepisy budowy oraz wymagania dotyczące budowy aparatury i urządzeń iskrobezpiecznych wraz z wykazem ważniejszych instytucji światowych, które wydają atesty iskrobezpieczeństwa. Z podanego tu wyciągu norm i przepisów wynika, że klasyfikacja pyłów zbożowych znajduje się tylko w normach amerykańskich (USA, Kanada). W krajach europejskich istnieją niewielkie różnice między normami IEC a brytyjskimi i niemieckimi w zakresie niektórych parametrów atmosfery wybuchowej, dlatego w przypadku analizy

konkretnych rozwiązań wskazana jest konsultacja krajowego ośrodka Kopalni Doświadczalnej „Barbara” Głównego Instytutu Górnicztwa - GIG.

Stosowanie norm krajowych i międzynarodowych ma charakter dobrowolny. W krajach europejskich, a także w niedługim czasie w Polsce, podstawowymi dokumentami dopuszczającymi produkty do obrotu i użytkowania są obligatoryjne regulacje prawne zawarte w Dyrektywach Nowego Podejścia. Zawierają one podstawowe wymagania w zakresie bezpieczeństwa wyrobów oraz podają sposoby prowadzenia oceny zgodności w tym zakresie.

Dla urządzeń automatyki i pomiarów obowiązują następujące Dyrektywy Nowego Podejścia:

- * Dyrektywa Niskonapięciowa 73/23/EC,
- * Dyrektywa Kompatybilności Elektromagnetycznej 89/336/EEC,
- * Dyrektywa Maszynowa 98/37/EC,
- * Dyrektywa 94/9/EC (ATEX100A).

Szczegółowe wyznaczanie bezpieczeństwa wyrobów zawarte są w tzw. europejskich normach zharmonizowanych z określoną dyrektywą. Obowiązuje przy tym naczelną zasadą, że jeżeli wyrób spełnia wymagania norm zharmonizowanych z określoną dyrektywą, to przyjmuje się zawsze domniemanie spełnienia przez wyrób wymagań podstawowych dyrektywy, których dotyczy ta harmonizacja. Wyrób spełniający wymagania podstawowe tych dyrektyw, pod które podlega, ma wystawioną przez dostawcę Deklarację Zgodności i jest znakowany „CE”. W niniejszej pracy szczególną uwagę zwrócono na dyrektywę ATEX 100A [151], ze względu na pracę urządzeń pomiarowych w atmosferze o silnym zapyleniu. Dyrektywa ta będzie miała moc obowiązującą od połowy roku 2003. Normy dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego w przemyśle procesowym [144, 145] składają się z wielu części. W chwili oddania do druku niniejszej pracy normy te nie mają jeszcze polskiej wersji językowej. Ostatnia część normy tzw. parasolowej, siódma [145] będzie zachowywać rezultaty – Maintenance Result Date: 2006-03-31. W porównaniu z Deklaracją Zgodności CE wydaną tylko przez producenta, zgodność z normami bezpieczeństwa funkcjonalnego wymaga uzyskania atestacji przez jednostkę notyfikowaną. Ranga certyfikatu wzrasta. Metoda oceny bezpieczeństwa polega na ustaleniu ryzyka i oszacowanie prawdopodobieństwa niechcianego zdarzenia. Integracja ryzyka to proces zamiany skutków prawdopodobieństwa na ich wpływ na ludzi, majątek, środowisko oraz zyski. Wymagana redukcja ryzyka dla SIS – Safety Instrument System, jest różnicą pomiędzy ryzykiem podstawowym a stanem uznawanym za tolerowany. W normie wprowadzono nowe definicje, które określają poziom bezpieczeństwa, np. poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL, docelową miarę uszkodzeń PFD w skali roku i PFH w skali godziny. W zależności od wartości SIL kształtuje się architekturę sprzętu i systemu. Ostatnia norma bezpieczeństwa [145] różni się od poprzedniej zakresem i odnosi się wyłącznie do SIS i sektora procesowego. Ponieważ normy te będą obowiązujące we wszystkich krajach UE, dlatego w zakończeniu rozdziału przedstawiono próbę oszacowania ważniejszych wskaźników bezpieczeństwa systemów i elementów iskrobezpiecznych systemów monitorowania temperatury. Ponadto istnieją krajowe materiały, dotyczące bezpieczeństwa pracy maszyn i ich elektrycznego wyposażenia, wydane przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów - PIAP.

3. CEL, ZAKRES I ZADANIA PRACY

Celem pracy jest analiza procesów występujących w składowanym ziarnie w elewatorach zbożowych i opracowanie metod pomiarowych do ich kontroli. Rozpatrywano zjawiska termiczne, które mają wpływ na stan ziarna i jego straty magazynowe, a także były i mogą być przyczyną groźnych eksplozji w elewatorach. Przedstawione dotychczas rozważania wskazują na występowanie problemów z pomiarem temperatury, których przyczyną nie jest brak akceptowanych metod projektowania, lecz są spowodowane brakiem wyczerpującego rozeznania i zrozumienia zjawisk termicznych występujących w składowanym ziarnie. Najważniejszym źródłem wytwarzania pól termicznych w masie ziarna są procesy metaboliczne, od których intensywności zależą wartości osiąganych temperatur. Dlatego znajomość rzeczywistego kształtu pól temperaturowych, a także możliwość jego modelowania umożliwi określenie punktów pomiarowych, a także opracowanie odpowiednich systemów monitorowania. Determinuje ona dokładności metod pomiarowych.

Ważnym zagadnieniem jest pomiar temperatury ziarna za pomocą wieloczuJNIKOWYCH sond temperatury o wysokiej wytrzymałości mechanicznej, których opracowanie miało zasadniczy wpływ na możliwości przemysłowego wdrożenia systemów monitorowania oraz rozwój metod pomiarowych w elewatorach zbożowych.

Dalszym celem jest opracowanie iskrobezpiecznych systemów pomiarowych umożliwiających bezpieczny pomiar temperatury w pomieszczeniach magazynowych ziarna charakteryzujących się wysokim stopniem zapylenia, które oprócz zjawiska samozagrzewania, ma wpływ na powstanie zagrożenia wybuchowego.

Na podstawie przeglądu istniejącego stanu wiedzy można stwierdzić, że osiągnięcie celu rozprawy wymaga rozwiązania sześciu następujących zadań naukowych:

1. Wyznaczenie teoretycznych i rzeczywistych pól temperaturowych występujących w masie ziarna.
2. Badanie pól temperaturowych i ich modelowanie wewnątrz składowanego ziarna w obiektach rzeczywistych oraz w zbiornikach odwzorowujących najczęściej spotykane silosy i komory elewatorów zbożowych;
3. Przeprowadzenie syntezy badań oraz analiza właściwości metrologicznych magazynu zbożowego jako podstawy do projektowania systemów monitorowania w obwodach iskrobezpiecznych dla czujników klasycznych z wyjściem analogowym i cyfrowym oraz czujników inteligentnych.
4. Analiza doboru i rozmieszczenia punktów pomiarowych i wieloczuJNIKOWYCH sond temperatury wewnątrz składowanej masy ziarna.
5. Opracowanie kryteriów doboru elementów systemu monitorowania temperatury, badania i wzorcowania oraz prognozowanie postępu w rozwoju czujników przydatnych do sond pomiarowych.
6. Określenie wymagań iskrobezpieczeństwa dla sond pomiarowych pracujących w strefie największego zapylenia.

Wyniki uytylitarne z powyższych opracowań można streścić w następujących zagadnieniach:

1. Opracowanie oryginalnej konstrukcji elastycznych sond pomiarowych i innych urządzeń systemu monitorowania i automatycznej regulacji, które mają istotny wpływ na kontrolę temperatury. Ważniejsze rozwiązania uzyskały ochronę patentową [152, 153].
2. Opracowanie nowoczesnych struktur iskrobezpiecznych układów pomiarowych i systemów monitorowania do elewatorów zbożowych, z określeniem wymaganych

certyfikatów jakości i bezpieczeństwa oraz zaproponowanie zmian ustawodawczych w stosunku do niektórych parametrów.

3. Zalecenia i uwagi do projektowania elewatorów i baterii silosów, uwzględniające wyniki badań metrologicznych i środowiskowych systemów monitorowania oraz ich efektywność ekonomiczną.
4. Zaproponowanie nowej metodyki bezstykowych badań temperatury w ziarnie zbóż i transmisji bezprzewodowej w systemach pomiarowych temperatury w magazynach zbożowych, która umożliwi dokładniejszą kontrolę składowanego ziarna.

Zadania szczegółowe pracy obejmują dobór miniaturowych czujników temperatury do zabudowy w wieloczuJNIKOWYCH elastycznych sondach pomiarowych oraz przedstawienie struktur systemów komputerowych wraz z wymaganiami na programy komputerowe. Nowo opracowane systemy spełniać będą założenia metrologiczne i nie będą stwarzać zagrożeń środowiskowych w produktach spożywczych, do których należy ziarno zbóż. Zadanie to polega na utrzymaniu poziomu toksyczności zboża na tym samym poziomie, jaki był przed instalacją w nich sond pomiarowych. W ramach tych zadań zaproponowano również praktyczną metodykę rozmieszczenia czujników i sond temperatury w masie składowanego ziarna w celu zapewnienia wykrywalności wzrostu temperatury, a także wskazania obszarów zagrożonych intensywnymi procesami metabolicznymi. Zadania te dotyczą konkretnych obiektów, na których prowadzono badania pilotowych układów monitorowania w wykonaniu iskrobezpiecznym. Rozdziały i ważniejsze podrozdziały pracy zakończone są dyskusją i podsumowaniem otrzymanych rezultatów.

Rozwiązania wszystkich zadań pracy znajdują się w 50 publikacjach autora, które są wyszczególnione w bibliografii w zakończeniu pracy. Jest wśród nich 5 monografii i 16 referatów prezentowanych na konferencjach międzynarodowych. Tylko 5 artykułów opracowanych jest przy współudziale autora, pozostałe stanowią indywidualny wkład autora w przedstawiane problemy. 2 patenty są wykorzystywane przez autora w jego opracowaniach, przez współpracujących z nim producentów i są wdrażane w różnych magazynach.

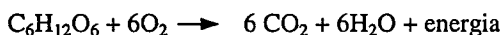
Praca jest podsumowaniem wieloletniego dorobku autora, który przyczynił się do wdrożenia nowo opracowanych systemów pomiarowych w około 30 obiektach przemysłowych: elewatorach, bateriach silosów i magazynach płaskich. Trzy ostatnie elewatory zostały już wyposażone w iskrobezpieczne systemy pomiarowe z inteligentnymi czujnikami temperatury.

4. POLA TEMPERATURY W ZIARNIE ZBÓŻ

Pola temperaturowe w ziarnie zbóż powstają przede wszystkim w wyniku procesów metabolicznych, a także oddziaływań bakterii, grzybów, gryzoni, zanieczyszczeń itp. Intensywność procesów metabolicznych zależy od temperatury i wilgotności, w których znajduje się ziarno i jest przedmiotem szeregu badań [4, 5, 14, 15, 25, 32, 33, 34], dlatego pomiar tych parametrów jest ważnym zadaniem technologii przechowywania. Opracowanie metodyki pomiarowej w ziarnie wymaga zbadania i oszacowania stref podwyższonej temperatury oraz umieszczenia w nich czujników i sond pomiarowych odwzorowujących tę temperaturę.

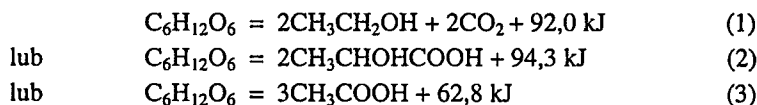
4.1 Proces wytwarzania energii cieplnej w masie ziarna

Podczas oddychania ziarno pobiera tlen z otoczenia. Wydziela się dwutlenek węgla, para wodna i energia. Z dużym uproszczeniem proces oddychania tlenowego można wyrazić następująco:



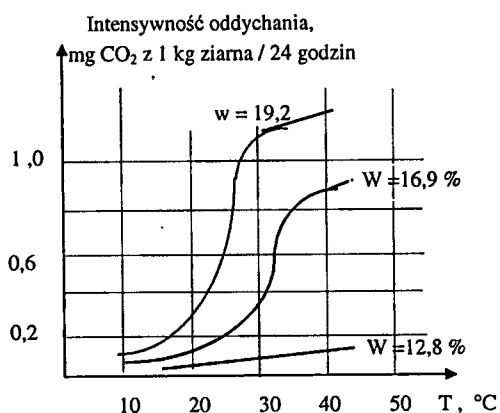
Uwolniona energia jest zużytkowana w innych reakcjach biochemicznych, a część rozprasza się w postaci ciepła. Podczas oddychania 1 kg substancji ziarna oraz 1,12 kg tlenu wytwarza się 1,54 kg dwutlenku węgla, 0,58 kg wody i 15 063 kJ ciepła [5].

W warunkach z utrudnionym dostępem tlenu występuje oddychanie wewnątrz-cząstkowe, w wyniku, którego tworzy się etanol (zależność 1), kwas mlekowy (zależność 2) lub kwas octowy (zależność 3) oraz wydziela się ciepło. Wartość jego jest mniejsza niż przy oddychaniu tlenowym i wynosi [25]:



Energii oddychania ϵ określa się ilością wydzielanego CO_2 z 1000g masy ziarna w jednostce czasu. Wartość jej zależy od temperatury i wilgotności ziarna. Wyraźny wzrost wytwarzania energii występuje w ziarnie o wilgotności powyżej 14,5 % i temperaturze powyżej 30 °C, rys 5. W temperaturach powyżej 70 °C może wystąpić zjawisko „gotowania ziarna” i jego samozapłon. Zgodnie z regułą Vant` Hoffa [20] dotyczącą wpływu temperatury na procesy biochemiczne, szybkość reakcji chemicznej wzrasta 2-3-krotnie wraz z podwyższeniem temperatury ziarna o 10°. W wyniku procesu oddychania powstają straty ilościowe wyrażające się ubytkiem suchej masy. Z tabeli 4 wynika, że im wyższa temperatura, tym te straty wielokrotnie rosną. Straty jakościowe podczas przechowywania charakteryzują się obniżeniem jakości ziarna, ponieważ tworzą się grzyby i bakterie, rys. 6, wywołujące zmiany zapachowe. Zależą one od wysokości położenia przemy ziarna i jej temperatury. Towarzyszy temu również zjawisko wzrostu temperatury ziarna. Wpływ intensywności procesów metabolicznych podczas składowania ziarna był przedmiotem badań wykonanych w ramach projektu badawczego. Projekt był realizowany przez dwa zespoły znanych naukowców z dziedziny technologii żywności z uczelni rolniczych i specjalistów od metrologii, a wyniki były prezentowane w kilku publikacjach [14, 15, 32, 33, 34].

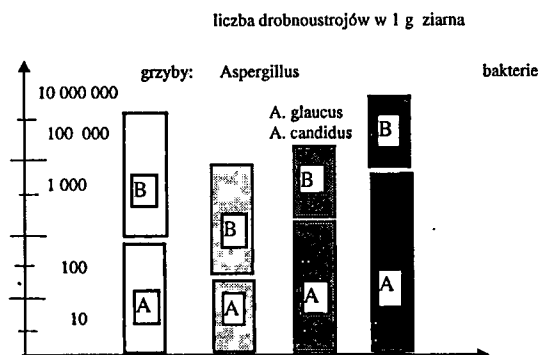
Autor, oprócz kierownictwa tego projektu, odpowiadał za opracowanie aparatury do wykonania badań i dobór aparatury.



Rys. 5. Intensywność oddychania ziarna dla trzech wilgotności % w funkcji T [25]

Tabela 4. Ubytek suchej masy ziarna o wilgotności 14 –15 %, przechowanego w różnej temperaturze wg badań autora i Jankowskiego [25]

Temperatura ziarna °C	Ubytek suchej masy ziarna w ciągu 10 dni na 100 kg	
	w g	w %
18	0,96	0,001
30	5,10	0,005
40	13,60	0,013
52	169,80	0,170



Rys. 6. Zakażenia powierzchniowe ziarna pszenicy dla wilgotności ziarna:
A - dla dolnej warstwy pryzmy o wilgotności w =16,5 %,
B - dla górnej warstwy pryzmy w =14 %, wg badań zespołu z udziałem autora [32]

Tabela 4. Wykaz stosowanej aparatury do analizy strat jakościowych

Nowo opracowana aparatura - sondy laskowe temperatury*, - pobieracz próbek powietrza z atmosfery znad górnej warstwy przyzmy zboża*, - pobieracz próbek powietrza wewnątrz warstwy zboża*.
Aparatura specjalistyczna - chromatograf gazowy, - model sztucznego, elektronicznego nosa

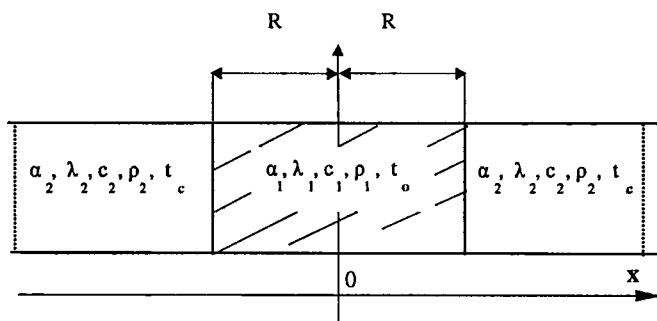
* aparatura opracowana i wykonana z wiodącym udziałem autora

Ziarno zbóż jest złym przewodnikiem ciepła. Jego przewodność cieplna wynosi od 0,54 do 0,63 kJ/mh i jest porównywalna z przewodnością powietrza lub azbestu.

Taka wartość przewodności jest zarówno wadą jak i zaletą [2, 5]. Do zalet można zaliczyć długotrwałe utrzymywanie przez ziarno niskiej temperatury, jeśli było ono wstępnie schłodzone. Wadą jest słabe odprowadzanie przez ziarno ciepła, i gdy powstanie w ziarnie źródło samo-zagrzewania, to osiąga ono w warstwach bezpośrednio przylegających do źródła wysoką temperaturę trudną do wykrycia. Występuje równocześnie duży gradient temperatury w funkcji odległości od źródła.

Przekazywanie ciepła w nieruchomej warstwie odbywa się zarówno przez przewodzenie ciepła na zasadzie dotyku powierzchni ziarna do ziarna, jak i przez konwekcję. Konwekcja polega na przemieszczeniu się ogrzanych cząstek powietrza w przestrzeni między-ziarnowej do wyżej położonych warstw ziarna i przekazaniu mu ciepła przez powietrze. Pole temperaturowe ma charakter pola źródłowego (grawitacyjnego). Można również wymusić kierunek i prędkość przemieszczania pola temperaturowego stosując aktywną wentylację. Powietrze wentylacyjne ochładza również samo źródło, ograniczając intensywność jego działania. Najczęściej zboże jest przechowywane w komorach, w których istnieje możliwość oceny intensywności samozagrzewania się masy za pomocą układów pomiarowych. Przerwanie procesu groźnego wzrostu temperatury przeprowadza się przez wydzielenie zanieczyszczeń luźno związanych z ziarnem i przesypywanie ziarna do innej komory elewatora. Dalsze rozważania będą więc ograniczone do samoistnych pól temperaturowych i poświęcone ich wykrywaniu.

Przewodnictwo cieplne źródła samogrzania ziarna i otaczającej masy ziarna będzie określone dla źródła w kształcie płaszczyzny o grubości $2R$.



Rys. 7. Fragment warstwy ziarna w obszarze źródła grzejącego w postaci płaszczyzny o grubości - $2R$

Przyjęto również następujące założenia upraszczające:

- * temperatura źródła w chwili początkowej dla $t = 0$ jest jednakowa w całym obszarze,
- * przestrzeń otaczająca jest teoretycznie nieograniczona,
- * wymiana ciepła między źródłem a masą otaczającego ziarna następuje tylko przez przewodzenie i nie uwzględnia się dyfuzji ciepła wzdłuż osi pionowej,
- * wartość strumienia cieplnego źródła i otaczającej przestrzeni są stałe w czasie, a ciepło właściwe c_1 i c_2 są sobie równe,
- * intensywność generacji ciepła przez źródło q_u i otaczającą przestrzeń q_o , są stałe w czasie,
- * współczynniki przewodności ciepła źródła λ_1 i otaczającej przestrzeni λ_2 są sobie równe,
- * ziarno podczas załadunku ma stałą temperaturę początkową,
- * przestrzeń otaczająca, podobnie jak samo źródło, jest całkowicie wypełniona ziarnem o gęstości ρ_1 dla źródła i ρ_2 dla otaczającej przestrzeni.

Przy tych założeniach równanie przewodnictwa cieplnego dla grzejącej płaszczyzny ma postać równania różniczkowego cząstkowego :

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial t_1}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} \right) + q_u \quad (4)$$

i dla warstw otaczających grzejącą płaszczyznę:

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial t_2}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x} \right) + q_o, \quad (5)$$

Dla warunków brzegowych:

$$\frac{\partial \tau_\phi}{\partial \tau} = \frac{q_o}{\rho_2 c_2} = b,$$

$$\frac{\partial \tau_\phi}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \tau_\phi}{\partial x^2} = 0.$$

Rozwiązanie równania [106] dla grzejącej płaszczyzny ma postać następującą:

$$T_I = \frac{t_I(x, \tau) - t_c}{t_o - t_c} = \frac{1 + P_o F_o}{1 + K_\epsilon} \sum (-h)^{n-1} \cdot \left[\operatorname{erfc} \frac{(2n-1) - x/R}{2\sqrt{F_{o1}}} + \operatorname{erfc} \frac{(2n-1) + x/R}{2\sqrt{F_{o1}}} + 4P_o F_{o1} i^2 \operatorname{erfc} \frac{(2n-1) - x/R}{2\sqrt{F_{o1}}} + 4P_o F_{o1} i^2 \operatorname{erfc} \frac{(2n-1) + x/R}{2\sqrt{F_{o1}}} \right];$$

a dla warstw otaczających:

$$\begin{aligned} \bullet \quad \frac{t_2(x, \tau) - t_c}{t_o - t_c} &= \frac{K_\epsilon}{1 + K_\epsilon} \operatorname{erfc} \left[\frac{x/R - 1}{2\sqrt{F_{o2}}} + 4P_o F_{o1} i^2 \operatorname{erfc} \frac{x/R - 1}{2\sqrt{F_{o2}}} \right] - \\ &- \frac{K_\epsilon (1+h)}{1 + K_\epsilon} \sum (-h)^{n-1} \left[\operatorname{erfc} \frac{2nK_a^{-1/2} + x/R - 1}{2\sqrt{F_{o2}}} + \right. \\ &\left. + 4P_o F_{o1} i^2 \operatorname{erfc} \frac{2nK_a^{-1/2} + x/R - 1}{2\sqrt{F_{o2}}} \right]; \end{aligned}$$

gdzie:

$$K_\epsilon = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \sqrt{\frac{\rho_1 c_1 \lambda_1}{\rho_2 c_2 \lambda_2}};$$

$$F_{o1} = \frac{a_1^2 \tau}{R^2}; \quad a = \frac{\lambda}{\rho c}; \quad h = \frac{1 - K_\epsilon}{1 + K_\epsilon};$$

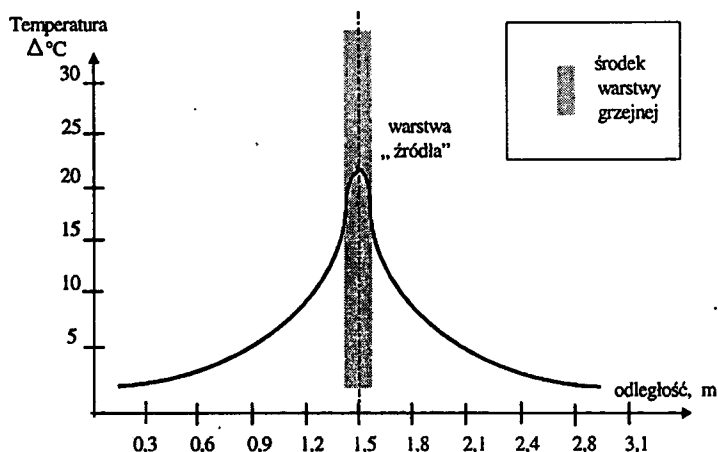
$$P_o = \frac{q R^2}{\rho_1 c_1 a_1 (t_o - t_c)};$$

Index 1 - dotyczy źródła, Index 2 - dotyczy otaczającej warstwy.

Podobne rozważania przeprowadzono również dla źródeł w kształcie płaszczyzny, walca i kul. Sporządzono tablicę nomogramów do szybkiego wyznaczania temperatur w funkcji odległości [60]. Różnice w poszczególnych przebiegach ilustrujących przebieg temperatury w funkcji odległości od źródeł o różnych kształtach nie są wielkie. Są one widoczne przy niewielkich odległościach od centrum grzania i zanikają powyżej 0,6 m. Na tej podstawie wyznaczono krzywą zmian temperatury w funkcji odległości od źródła.

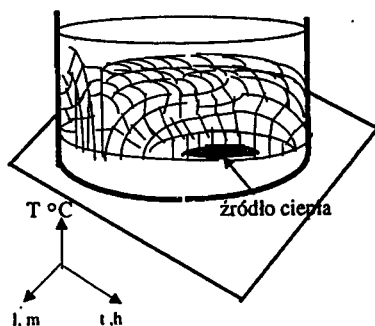
4.2 Przebieg pól temperaturowych

Pole temperaturowe wyznaczone w warunkach rzeczywistych ma rozkład bardzo złożony. Może być graficznie reprezentowane przez odpowiednie krzywe o bardzo dużym nachyleniu przy niewielkiej odległości od źródła, które następnie maleje. Przy odległościach dochodzących do 1,5 m od źródła, temperatura otaczającego ziarna zbliża się do 0,5 °C. W tym czasie źródło osiąga już temperaturę 25 °C. Przebiegi teoretyczne spowodowane działaniem źródeł o różnym kształcie figur geometrycznych nie różnią się zasadniczo od przedstawionego na rys.8, chociaż nie uwzględniają oddziaływań warstw dolnych, bocznych, kształtu zbiornika itp.



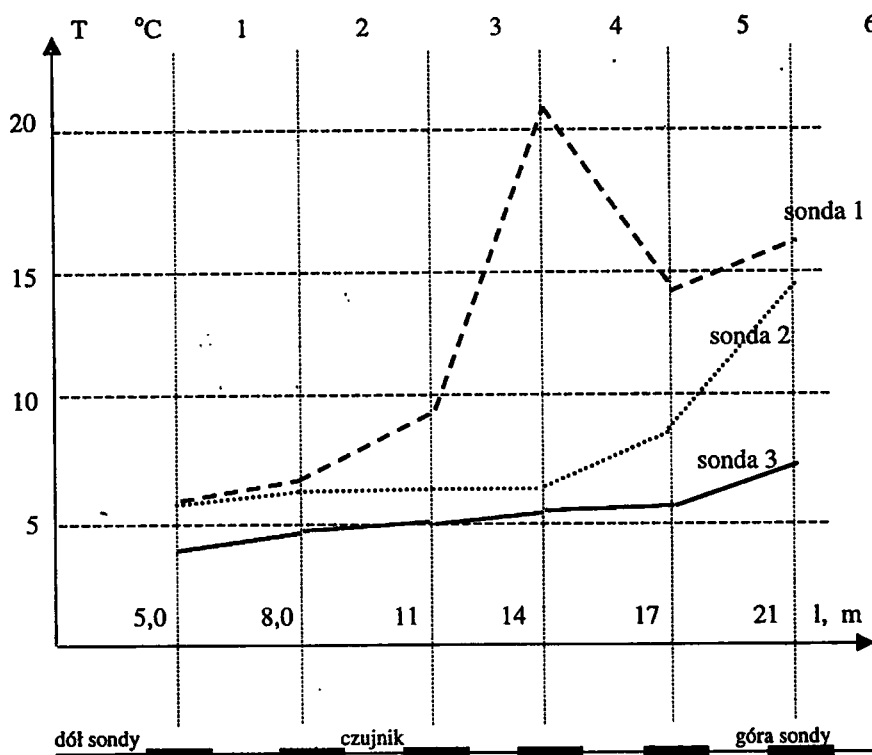
Rys. 8. Teoretyczny przebieg temperatury w ziarnie zbóż, wytwarzanej przez źródło o temperaturze 40 °C w odległości 1,5 m od osi współrzędnych

Rzeczywisty rozkład temperatury w masie ziarna wyznaczano na podstawie badań procesów stabilnych przy źródle o małej mocy wywołujących temperaturę około 40 °C [50, 66, 71]. Na modelu zbiornika z ziarnem temperatura narastała do około 30 °C [69]. Temperatura otoczenia wynosiła 20 °C.



Rys. 9. Pole temperaturowe, w warunkach stabilnych, w modelowym zbiorniku

W dolnej części zbiornika, rys. 9, umieszczone było niewielkie źródło, które wywoływało wzrost temperatury. Izotermy temperaturowe są prawie równoległe do siebie. Zniekształcenia widoczne są tylko w pobliżu krawędzi zbiornika, ze względu na ich chłodzące oddziaływanie. Wyniki badań rzeczywistych pól temperaturowych wykonywanych przez autora w JTI w Upsali były bardzo zbliżone do przedstawionego pola na powyższym rysunku. W niniejszej pracy ograniczono się tylko do tego jednego poglądowego rysunku.

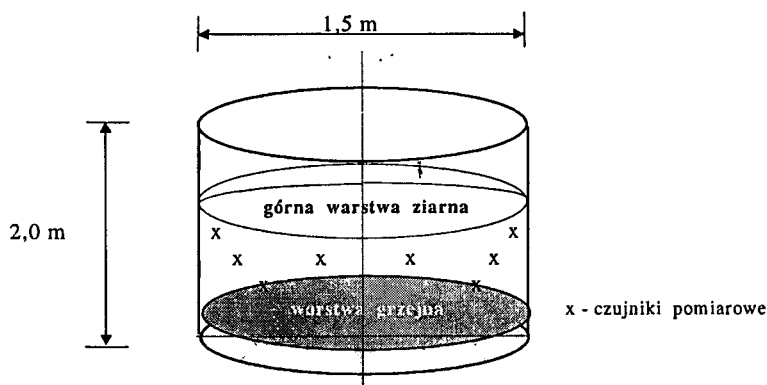


Rys. 10. Rzeczywiste wartości temperatury wyznaczone przez 3 sondy 6-czujnikowe zawieszone w układzie gwiaździstym

Na rysunku 10 przedstawione są wykresy temperatur wyznaczone za pomocą 3 sond 6-czujnikowych zawieszonych gwiazdźście (rozdz. 6.4) w silosie o średnicy $d = 9$ m. Zasyp ziarna przeprowadzono w grudniu 2001 r., a odczyt dokonano w lipcu 2002 r. W dolnych czujnikach zmierzona temperatura była niska i wzrastała wolno, aż do czujników wysokich. Była to prawidłowość potwierdzona wynikami z sąsiednich silosów i komór. W sondzie 1 dla czujnika 4 widać wyraźny wzrost temperatury w stosunku do wartości temperatur z poprzednich czujników. Świadczy on o wystąpieniu zjawiska samo-zagrzewania. Jeśli stan ten będzie się utrzymywał obsługa będzie zmuszona do przeprowadzenia jednego z zabiegów technologicznych. W takiej sytuacji przesypuje się zboże do innego pustego zbiornika oczyszczając je i ewentualnie dezynfekując. Są to zabiegi energochłonne i dlatego należy mieć pewność konieczności ich wykonania. Pewność tę można nabyć dokonując częstych pomiarów temperatury i ich przyrostów dobowych i tygodniowych. Znacznie trudniejszą sytuację mają obsługi które nie posiadają odpowiednich pomiarów temperatury. W tym przypadku rutynowo, okresowo przeprowadza się przesypywanie ziarna.

4.3 Badania modelu zbiornika z warstwą grzejną

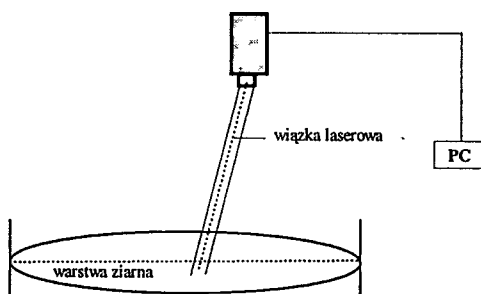
Do celów doświadczalnych został wykonany model komory elewatora w kształcie stalowego walca o wysokości 2 m i średnicy 1,5 m. Gabaryty walca (bina) zostały tak dobrane, aby odwzorowały w odpowiedniej skali wymiar rzeczywistego zbiornika.



Rys. 11. Model zbiornika z ziarnem oraz rozmieszczenie sond temperatury dla jednej z konfiguracji wyznaczania pola temperaturowego (wg badań autora)

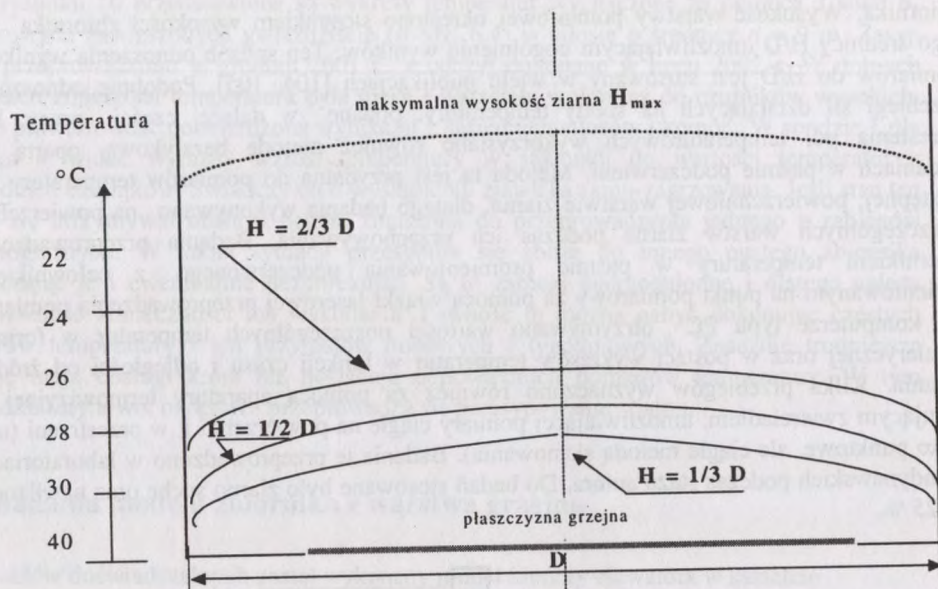
Za pomocą modelu określano obszar największych zmian temperatury w funkcji odległości od źródła ciepła. Źródło umieszczone jest w podstawie walca i przedstawione za pomocą mocno zaciemnionej płaszczyzny (rys. 11). Jest to aluminiowa płytka cienkościenna z napyłoną ceramiczną warstwą grzejną zasilaną energią elektryczną. Do pomiaru temperatury ziarna stosowano przenośne laskowe sondy temperaturowe z miejscowym cyfrowym odczytem, współpracujące z komputerem PC. Sondy umieszczano w różnych warstwach i w różnych konfiguracjach w celu wyznaczenia rzeczywistego pola temperaturowego i porównania go z polem teoretycznym. Wyznaczanie pól temperaturowych dla poszczególnych warstw zboża przeprowadzano określając przebieg temperatury wzdłuż linii średnicy

zbiornika. Wysokość warstwy pomiarowej określono stosunkiem wysokości zbiornika do jego średnicy H/D umożliwiającym uogólnienie wyników. Ten sposób odnoszenia wyników pomiarów do H/D jest stosowany w wielu publikacjach [104, 105]. Podobnie odnoszono przebiegi sił działających na sondy temperatury, podane w dalszej części pracy. Do określenia pól temperaturowych wykorzystano również metodę bezstykową, opartą na badaniach w paśmie podczerwieni. Metoda ta jest przydatna do pomiarów temperatury na dostępnej, powierzchniowej warstwie ziarna, dlatego badania wykonywano na powierzchni poszczególnych warstw ziarna podczas ich przechowywania. Badania przeprowadzono miernikiem temperatury w paśmie promieniowania podczerwonego, z celownikiem zorientowanym na punkt pomiarowy za pomocą wiązki laserowej przeprowadzenia pomiaru. Na komputerze typu PC otrzymywano wartości poszczególnych temperatur w formie tabelarycznej oraz w postaci wykresów temperatur w funkcji czasu i odległości od źródła grzania. Kilka przebiegów wyznaczono również za pomocą aparatury termowizyjnej z wirującym zwierciadłem, umożliwiającej pomiary ciągłe na powierzchni i w przestrzeni (nie tylko punktowe, ale ciągłe metodą skanowania). Badania te przeprowadzono w laboratoriach skandynawskich podczas stażu autora. Do badań stosowane było ziarno suche oraz nawilżone do 25 %.



Rys. 12. Pomiar temperatury na powierzchni warstwy ziarna za pomocą miernika promieniowania podczerwonego z celownikiem laserowym (wg badań autora)

Wyniki pomiarów przedstawione są dla trzech warstw: $H/D = 1/3$, $H/D = 1/2$ i $H/D = 2/3$ i dla czasu grzania do 200 min. Punkty pomiarowe P – położone są na promieniu warstwy w następujących odległościach od środka zbiornika: 1 – przy ścianie zbiornika, 2 – w odległości $1/4$ średnicy zbiornika od jego środka, 3 – w odległości $1/8$ średnicy od środka zbiornika, 4 – w środku warstwy zbiornika. Dla niskiej warstwy ($H/D = 1/3$) badania prowadzono dla 4 punktów pomiarowych P, dla pozostałych w punktach 3 i 4, ponieważ zmiany temperatury dla P – 1 i 2 były małe i spowodowane tylko chłodzącym działaniem ściany zbiornika. Na podstawie tych badań wykonano wykres rozkładu temperatur dla trzech badanych warstw po 200 min grzania (rys. 13).



Rys. 13. Wzrost temperatury w zbiorniku z ziarnem, dla 3 poziomów zasypu, wywołany przez płaszczyznę grzejną o $T_{gr} = 60^{\circ}\text{C}$ po 200 min grzania (wg badań autora)

Podsumowanie

Pomiary bezstykowe, w paśmie podczerwieni, warstwy ziarna wewnątrz stalowego zbiornika wykazały, że:

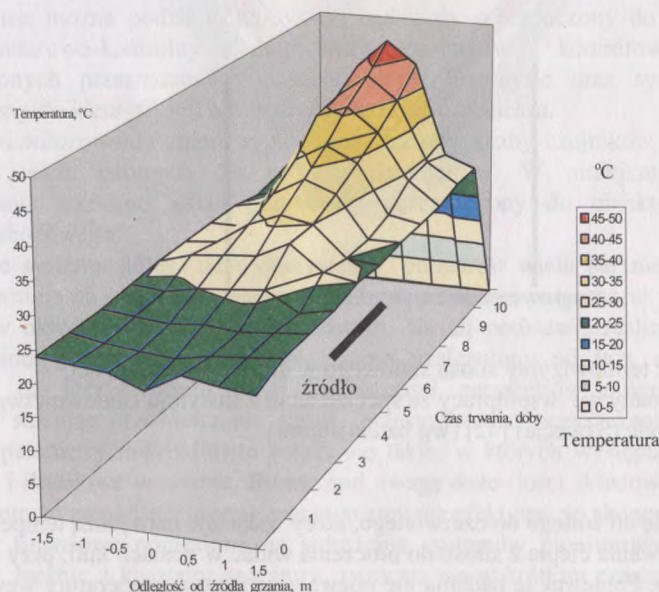
- * Najwyższa temperatura wywołana źródłem grzania przez 16 godzin występuje w warstwach przylegających do źródła do wysokości $H=1/2D$, następnie mocno maleje, na wysokości $2/3 D$ oddziaływanie temperaturowe źródła można praktycznie pominąć,
- * Wpływ chłodzącego działania ścian zbiornika na ogrzaną warstwę ziarna jest duży, tak że przy ścianie i w odległości do $1/4 D$ średnicy, liczonej od ściany można go traktować jako dominujący. Przebieg krzywej pola temperaturowego, dla ostatniej warstwy przy powierzchni przyzmy ziarna, jest bardzo stromy w pobliżu ścian zbiornika. Jest to wynikiem podwójnego chłodzenia od ścian zbiornika i powietrzem grawitacyjnym nad górną warstwą przyzmy. W tej przestrzeni, wzdłuż wszystkich warstw nie powinny być umieszczane czujniki temperatury (sondy elastyczne), ponieważ ich wskazania nie będą odwzorowywały temperatury badanej, lecz temperaturę uśrednioną z temperaturą ścian zbiornika,
- * Badania modelu zbiornika z ziarnem umożliwiają weryfikację rzeczywistych przebiegów temperatury i umożliwiają postulowanie obszarów, w których pomiar temperatury nie jest wiarygodny dla całej masy ziarna.

4.4 Badania obiektowe

Obiektem pilotowym, na którym prowadzono badania rzeczywistych pól temperaturowych, była komora elewatora. Umieszczono w niej dużą liczbę czujników temperatury. Zboże było specjalnie zawilgocone, aby procesy grzejne w krótkim czasie były odczuwalne i zmiana temperatury możliwa do rejestracji. Na podstawie wyników pomiarów opracowano wykres przestrzenny (rys. 14). Źródło samozagrzewania znajduje się w podstawie i ma kształt prostokąta. Z wykresu wyraźnie wynika, jaki jest kształt pola temperaturowego wewnątrz masy ziarna. Maksymalna wartość temperatury występuje w funkcji trwania okresu składowania ziarna. Będzie ona również zależała od odległości od źródła. Na wykresie intensywność koloru czerwonego wskazuje na wysokość temperatury ziarna i jest najwyższa w przedziale temperatury 45-50 °C

4.5 Badania termowizyjne

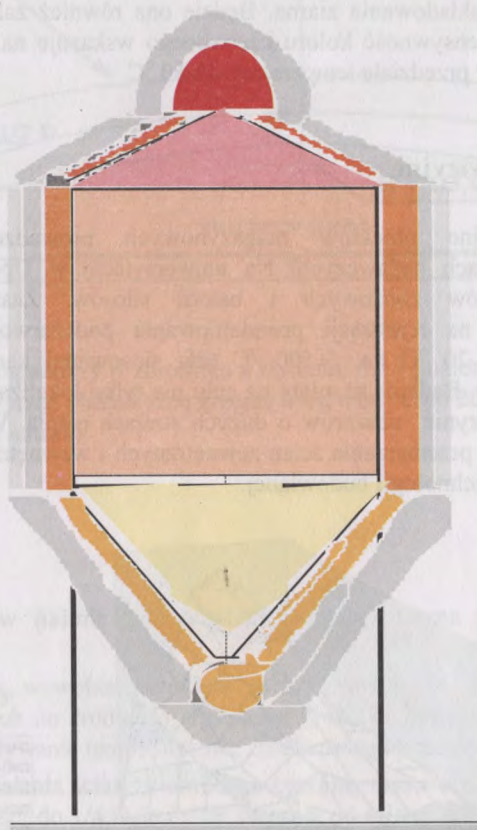
Badania termowizyjne obiektów magazynowych prowadzone są również w skandynawskich ośrodkach badawczych. Na uniwersytecie w Upsali otrzymano obrazy termowizyjne elewatorów zbożowych i baterii silosów. Zasada pomiaru kamerą termograficzną polega na rejestracji promieniowania podczerwonego emitowanego w temperaturze powyżej -20 °C do +500 °C (dla stosowanej kamery) i prezentacji na kolorowym termogramie. Badania te miały na celu nie tylko lokalizację źródeł grzania, lecz także wykrycie w magazynie obszarów o dużych stratach ciepła. W magazynach płaskich badano również obszary przemarzania ścian zewnętrznych i wewnętrznych w celu poprawy ich konstrukcji i oceny technologii budowlanej.



Rys. 14. Rozwój pola temperaturowego w funkcjach czasu i odległości od źródła (wg badań autora)

Ma to szczególne znaczenie w warunkach surowego klimatu skandynawskiego.

Z punktu widzenia wykrywalności źródeł ciepła w masie ziarna, metoda termowizyjna jest mało przydatna, ponieważ wskazuje jedynie temperaturę na całej powierzchni zewnętrznej silosu. Na podstawie dyskusji z krajowymi technologami przechowywania można jednak tę metodę uznać za wystarczającą do ochrony baterii silosów o pojemności 150-300 t. W większych obiektach należy jednak penetrować przestrzeń wewnętrzną zbiornika za pomocą dokładniejszych metod pomiaru temperatury z sondami elastycznymi lub sondami z nadajnikami radiowymi i ze zdalnym odczytem. Do badań punktowych, np. temperatury na powierzchni zbiornika, stosowano pirometry z celownikami laserowymi.



Rys. 15. Obraz termowizyjny silosu stalowego w grafice jednobarwnej, otrzymany we współpracy ze specjalistami z Instytutu Budownictwa „LI” w Gävle (Szwecja) [42] (wg badań autora)

Kolor zmienia się od żółtego do czerwonego, który wskazuje najwyższą temperaturę. Dużą intensywność oddawania ciepła z silosu do otoczenia widać w postaci kuli, przy wierzchołku stożka zasypowego. Ponieważ te badania nie pozwalają mierzyć temperatury wewnątrz masy ziarna, a tylko na zewnętrznej powierzchni, więc są przydatne do badań silosów z aktywną wentylacją. Można je również wykorzystać do wskazania obszarów dużego, zewnętrznego chłodzenia ziarna dla warstw ziarna przylegających do płaszcza zbiornika.

5. OPIS I WYMAGANIA NA SYSTEMY POMIAROWE I REGULACYJNE

5.1 Cel i zadania systemów pomiarowych

Pod pojęciem *systemów* przyjęto uporządkowany wewnętrznie układ elementów mający określoną strukturę.

Klasycy filozofii polskiej prof. Kotarbiński i Tatarkiewicz [81, 110] w rozważaniach dotyczących metodologii nauk określili systematyzację pojęć i zadania systemów uznając je jako kluczowe w nauce. W naukach technicznych pojęcia te wymagają uściślenia.

W metrologii stosowana jest nazwa *systemów pomiarowych* dotycząca rozbudowanych układów pomiarowych wielu parametrów. Zestaw elementów, przyrządów pomiarowych spełniający określoną funkcję jednoparametryczną traktowany jest jako *system pomiarowy*.

W nowym, międzynarodowym słowniku terminów metrologii [147] nie ma rozróżnienia na układy i systemy pomiarowe. Angielską i francuską nazwę *measuring system, systeme de mesure* tłumaczy się na język polski jednym wspólnym określeniem: *układ pomiarowy*. Ze względu jednak na dużą liczbę krajowych publikacji wyróżniających systemy pomiarowe i układy pomiarowe oraz zwyczajowo używane określenia, w niniejszej pracy zachowano rozróżnienie na układy i systemy pomiarowe.

System pomiarowy można określić jako odpowiednio zorganizowany zestaw elementów, stanowiących całość organizacyjną i objętych wspólnym sterowaniem, przeznaczonym do wydobycia informacji pomiarowej z obiektu badanego i przekazania jej obserwatorowi w użytecznej formie [114].

Urządzenia połączone przez interfejs, czyli zespół środków służących do łączenia elementów systemu z komputerem PC przeznaczone do zbierania, przetwarzania i prezentacji danych pomiarowych, tworzą *komputerowy system pomiarowy*.

System ten można podzielić na system badawczy przeznaczony do badań naukowych, system pomiarowo-kontrolny z dużą liczbą czujników i kontrolowanych parametrów rozmieszczonych przestrzennie występujących w przemyśle oraz system pomiarowo - diagnostyczny do identyfikacji lub predykcji uszkodzeń obiektu.

System monitorowania zbiera sygnały od znacznej liczby czujników (np. kilku tysięcy), określający wiele istotnych dla procesu parametrów. W niniejszej pracy systemem monitorowania nazwano układ pomiarowy przeznaczony do obiektów magazynowych przemysłu zbożowego.

Działanie systemu polega na wykonywaniu pomiarów wielu parametrów składowanego ziarna. Informuje on o aktualnych wartościach temperatury i wilgotności ziarna, a także o ich zmianach w określonym przedziale czasowym. Na tej podstawie realizuje się odpowiedni proces technologiczny przechowywania ziarna uzależniony od fazy składowania ziarna. Polega on na utrzymywaniu zadanych wartości parametrów mikroklimatu magazynu zbożowego stosując przewietrzanie ziarna, przesypywanie, oczyszczanie, suszenie itp. Za optymalne parametry mikroklimatu uważa się takie, w których występują minimalne straty jakościowe i ilościowe w ziarnie. Biorąc pod uwagę duże ilości składowanego zboża, nawet kilku procentowe zmniejszenie strat znacząco zmienia efektywność ekonomiczną.

Nakłady finansowe poniesione na wdrożenie systemów monitorowania w elewatorach zbożowych, łącznie z kosztami aparatury, zwracają się w krótkim czasie. Nie przekracza on trzech lat [18, 54], a okres amortyzacji jest krótszy w porównaniu z tym okresem w wielu innych systemach wdrożonych w przemyśle spożywczym. Procesy technologiczne stosowane w przechowywaniu ziarna są wysoce energochłonne. Urządzenia

wykorzystywane w przechowywaniu są zasilane energią elektryczną, ciepłą i z różnych źródeł (z gazu, ropy naftowej, węgla itp.). Czas ich pracy zależy od informacji uzyskanych z przeprowadzonych pomiarów. Dlatego funkcjonowanie systemów monitorowania musi być niezawodne i zapewniające wiarygodną informację pomiarową. System monitorowania może współpracować z innymi systemami, np. regulacyjnymi. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów podejmowane są decyzje realizowane automatycznie (np. w systemach z wymuszonym przewietrzaniem) lub przy sterowaniu ręcznym, uruchamiające odpowiednie procesy technologiczne. Błędne decyzje powodują nadmierne zużycie nośników energetycznych, urządzeń technologicznych, a także wyższe straty składowanego produktu.

Drugim zadaniem, które uzasadnia stosowanie systemów monitorowania, jest ochrona przeciwwybuchowa. Polega ona na kontroli wzrostu temperatury składowanego ziarna. Samozapłon pyłu zbożowego, który może nastąpić przy braku kontroli temperatury, jest groźny nie tylko dla obsługi, ale zniszczeniu uleg mogą też komory elewatora i składowane ziarno. System musi więc spełnić podstawowe zadania, a w czasie swojej normalnej pracy, a także pracy awaryjnej nie może sam przyczynić się do powstania wybuchu. Przyczyną może być nadmierny wzrost temperatury aparatury pomiarowej, wyładowania elektrostatyczne na obudowach czujników i sond pomiarowych i pozostałej aparatury pracującej w warunkach silnego zapylenia. Dlatego systemy monitorowania wykonuje się obecnie w technice iskrobezpiecznej.

5.2 Podstawowe parametry systemu pomiarowego i regulacyjnego

Zadaniem rozbudowanych systemów pomiarowych, dla których stosowana jest nazwa systemów monitorowania, jest pomiar różnych wielkości fizycznych w sposób spełniający kryteria: metrologiczne, funkcjonalne, niezawodnościowe, bezpieczeństwa i kosztowe. Taki pomiar w sensie metrologicznym jest to proces jednoznacznej przyporządkowania wektorów wielkości wejściowych (mierzonych) wektorom wielkości wyjściowych (wyników pomiarów) [7].

$$Y_m(X_n) = F_m[X_n(t)]$$

w której:

$Y_m(X_n)$ - wektor wielkości wyjściowej systemu będący funkcjami X_n

$m = 1, 2, \dots, k$;

$X_n(t)$ - wektor wielkości wejściowej będący funkcją czasu $n = 1, 2, \dots, l$.

Najbardziej rozpowszechniony system pomiarowo-kontrolny polega na pomiarze temperatury w kilkuset lub nawet kilku tysiącach punktów pomiarowych.

Obecnie system jednoparametryczny temperatury jest rozszerzany o pomiar i kontrolę następujących wielkości:

- * wysokości zasypu,
- * ciągłego pomiaru wilgotności ziarna podczas załadunku komór,
- * pomiaru wilgotności powietrza wewnątrz komór,
- * pomiaru wilgotności próbek ziarna z komór oraz z taśmociągów.

System monitorowania temperatury powinien zapewnić pomiar i przetwarzanie danych [43, 67, 85] realizując następujące funkcje:

- * zdalny wielopunktowy pomiar temperatury przedstawiony w postaci cyfrowej i/lub analogowej,

- * pomiar w cyklu automatycznym wszystkich punktów pomiarowych oraz pomiar w dowolnie wybranej komorze elewatora,
- * monitorowanie i archiwizację pomiarów,
- * wizualizację punktów pomiarowych na rysunkach synoptycznych,
- * skanowanie punktów pomiarowych w określonych odcinkach czasowych, np. co 6, 12, lub 24 h,
- * określenie przyrostów temperatury w ciągu jednej doby lub jednego tygodnia,
- * nastawę wartości granicznych temperatur oraz sygnalizację akustyczną i optyczną ich przekroczenia.

Układy pomiarowe, przeznaczone do mniejszych obiektów, takich jak magazyny płaskie czy baterie silosów, mogą spełniać mniej funkcji niż większe systemy monitorowania. Z systemem pomiarowym mogą również współpracować układy regulacyjne i sterujące aktywną wentylacją, jeśli taka istnieje w elewatorze. W odróżnieniu od wielu rozwiązań przemysłowych, w których przewidywany jest stały nadzór i serwis, systemy pomiarowe w magazynach powinny pracować w znacznie dłuższym przedziale czasu i tylko z krótkimi przerwami na kontrolę okresową. Dotychczas nie było krajowych wymagań na aparaturę kontrolno - pomiarową stosowaną zarówno to pomiarów jak i do regulacji, przeznaczoną do magazynów zbożowych. Wiadomo jednak, że jednym z elementów kwalifikujących magazyn zbożowy do obrotu towarowego wewnątrz Unii Europejskiej jest wyposażenie elewatora w odpowiedni system pomiarowy. Dlatego przeprowadzono szersze rozeznanie w tym zakresie. Ustalenie parametrów systemów pomiarowych i regulacyjnych poprzedzone było, przez autora, dyskusją z technologami przechowalnictwa. Prowadzone były badania podobnych systemów, traktowanych jako wzorce w Polsce oraz w krajach skandynawskich a także w Rosji i w Niemczech. Pomocne były również wyniki polsko-amerykańskiego projektu badawczego dotyczące zagrożenia wybuchowego w ziarnie zbóż wykonanego pod kierunkiem P. Wolańskiego [115]. Wykorzystano również Wymagania Automatyzacji i Robotyzacji Obiektów Magazynowych w Rolnictwie dla krajów RWPG opracowane w Moskwie ze współudziałem autora [47] oraz wymagania normalizacyjne FAO i ISO [119, 120]. Na tej podstawie sformułowano ważniejsze parametry metrologiczne, cechy konstrukcyjne sond, a także wymagania ze względu na zagrożenia wybuchowe i środowiskowe, które są następujące dla systemu pomiarowego:

pomiar temperatury

- * zakres pomiarowy temperatury: $0 \div 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- * dokładność: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- * powtarzalność: $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, dla systemów analogowych z czujnikami Pt 100, Cu 100, Ni 100, z termistorami, itp.,
- * rozdzielczość: $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- * stała czasowa temperatury: - sond laskowych $\geq 3\text{ min}$,
- sond elastycznych wysokiej wytrzymałości $\geq 60\text{ min}$,
- * zakres nastawy temperatury granicznej: $40 \div 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- * czas odpowiedzi na odczyt temperatury z wybranej komory – $\leq 30\text{ s}$,
- * czas odczytu wszystkich punktów pomiarowych: od 3 do 5 min,
- * warunki znamionowe użytkowania: czujników i przetworników: $0 \div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- * warunki znamionowe użytkowania: jednostki centralnej: $15\text{ }^{\circ}\text{C} \div 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,

- * rozmieszczenie czujników temperaturowych: 3 m w każdym kierunku w masie ziarna, dopuszcza się większe odległości wynikające z budowy silosa (komory elewatora) i jego chłodzenia.

dla systemu regulacyjnego z aktywną wentylacją

- * wartość zadana temperatury $T_z = 0 \div 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- * temperatura powietrza wentylacyjnego $T_w = T_d - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- * załączanie wentylacji dla $w_w \geq 92 \text{ } \%$.

ważniejsze cechy mechaniczne elastycznych sond pomiaru temperatury i sond laskowych

- * długość sond temperatury: do 60 m;
- * wytrzymałość mechaniczna na zrywanie dla sond pomiaru temperatury o różnych średnicach;
dla sond o $\phi = 10 \text{ mm}$ - $\geq 30 \text{ kN}$,
dla sond o $\phi = 15 \text{ mm}$ - $\geq 50 \text{ kN}$,
dla sond o $\phi = 17 \text{ mm}$ - $\geq 90 \text{ kN}$,
dla sond laskowych o $\phi = 8 \text{ mm}$ - $\geq 10 \text{ kN}$.
- * liczba czujników w jednej sondzie: od 3 do 12 (w zależności od jej długości).

zagrożenia wybuchowe [122 ÷ 128]

- * zapalność i wybuchowość pyłów zbożowych - $\geq 420 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- * klasyfikacja stref pyłów: dla sond i czujników - strefa 21
dla urządzeń towarzyszących - strefa 22.
- * zagrożenie związane z elektrycznością statyczną – kategoria 1

wymagania iskrobezpieczeństwa „i” dla aparatury [122 ÷ 128, 131, 140, 141]

- * kategorie iskrobezpieczne: dla sond i czujników - „i_a”
dla urządzeń towarzyszących – „i_b”
- * klasa temperaturowa: dla sond i czujników - T4;
dla urządzeń towarzyszących - T1, T2.
- * grupa wybuchowości: dla sond i czujników - II C;
dla pozostałej aparatury - II A.
- * kategoria wybuchowości: 1 i 3 dla II grupy urządzeń,
- * stopień ochrony obudowy: dla sond i czujników - IP 65,
dopuszcza się IP 54;
dla pozostałej aparatury - IP 44.
- * potencjał elektrostatyczny obudowy sond elastycznych $V_e - \leq 1,00 \text{ kV}$.
- * oporność obudowy sond elastycznych temperatury:
– oporność powierzchniowa $R_s - \geq 1 \times 10^6 \text{ } \Omega$
– skrośna $R_v \leq 1 \times 10^9 \text{ } \Omega$.

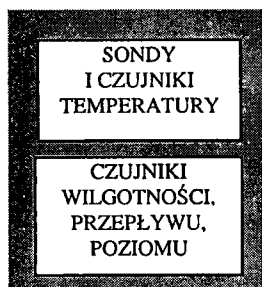
zagrożenia toksykologiczne obudów i pancerzy sond [71]

- * obudowy sond zanurzone są w ziarnie, które jest produktem spożywczym, dlatego wymagana jest ich mała toksyczność - $LD_{50} < 0,002 \text{ mg/m}^3$.

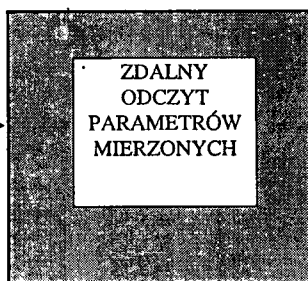
5.3 Struktury połączeń jednostek funkcjonalnych

System pomiarowo składa się, na ogół, z kilku jednostek funkcjonalnych. Sondy temperatury, czujniki i przetworniki wilgotności i innych parametrów umieszczone są w ziarnie zbóż lub w jego pobliżu. Wartości parametrów mierzonych są następnie przetworzone na sygnały elektryczne lub innego typu sygnały (np. hydrauliczne lub pneumatyczne), a następnie wysłane linią przesyłową do części centralnej, w której prowadzony jest ich zdalny odczyt, rys. 16. Przyrosty temperatury i zmiany wilgotności mogą być odniesione do przedziałów czasowych dobowych i wielodobowych w celu lepszego rozpoznania intensywności procesów metabolicznych.

OBSZAR ZAGROŻONY WYBUCHEM



OBSZAR BEZPIECZNY



Rys. 16. Zasada pracy systemu pomiarowego ze zdalnym odczytem

Czujniki i sondy pomiarowe znajdują się w strefie niebezpiecznej o wysokim stopniu zapylenia. W ich pobliżu montowane są przetworniki pomiarowe, multiplexery separatory itp. Pozostałe elementy układu lub systemu pomiarowego znajdują się w pomieszczeniach bezpiecznych, w których atmosfera nie stanowi zagrożenia wybuchowego.

Podział układów i systemów pomiarowych

Systemy pomiarowo-kontrolne w magazynach zbożowych opracowane były jako:

- * specjalistyczne układy zdalnego pomiaru temperatury,
- * systemy pomiarowe o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych,
- * systemy monitorowania o połączeniu jednostek funkcjonalnych za pomocą magistrali interfejsu.

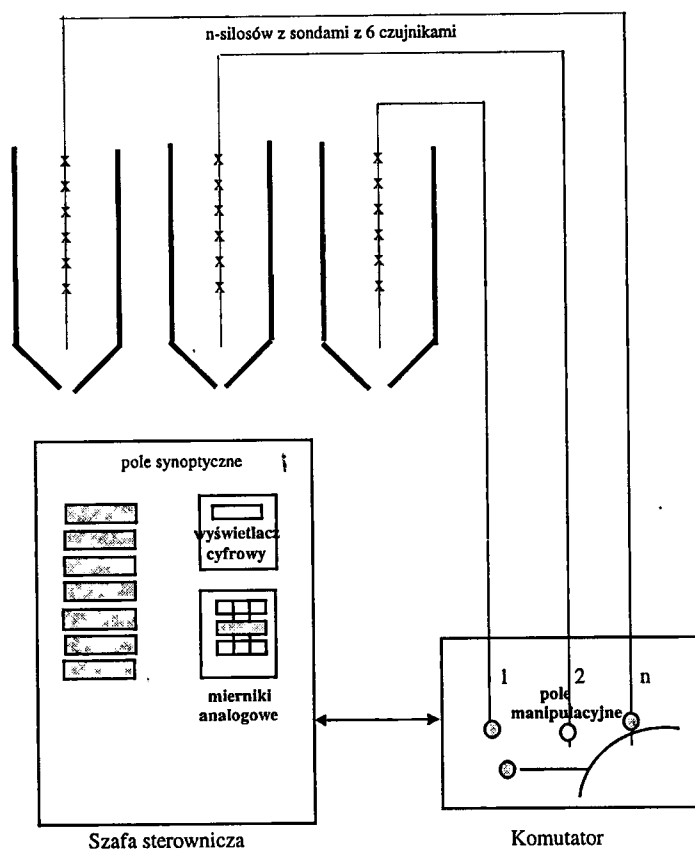
Specjalistyczne układy pomiarowe wykonywane były do określonego zastosowania, np. tylko do pomiaru temperatury ziarna zbóż. Układy takie montowano w małych magazynach płaskich i bateriach silosów oraz w jednostkowych silosach.

Pierwsze systemy o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych składały się z elektrycznych bloków zabudowanych w szafie sterowniczej. Szafa z miernikami temperatury znajdowała się w sterowni elewatora, rys. 17. Do niej doprowadzone były kable łączące z poszczególnymi sondami temperatury. Sygnał z sond był, w pierwszych systemach analogowy-napięciowy z odpowiednią kompensacją spadku napięcia na przewodach łączących. W nowszych układach pomiarowo-kontrolnych jest stosowany standardowy

sygnał przesyłowy prądu stałego. Wartość wielkości mierzonej można odczytywać na miernikach analogowych i cyfrowych przedstawionych na mapach synoptycznych całego obiektu. Wybór odpowiednich komór i przyporządkowanych im punktów pomiarowych prowadzony jest za pomocą komutatorów elektromechanicznych, przekładników, a ostatnio multiplekserów.

W systemach krajowych nowszej generacji (z początku lat 80.) elementami dopasowującymi były bloki systemu Inteldigit PI. Tworzyły one system „TELETERM MC” wchodzący w skład systemu „POLMATIK”.

Większość zainstalowanych w kraju systemów była wykonana na zasadzie bezpośredniego połączenia jednostek, rys. 17. Obecnie tę zasadę stosuje się tylko w niedużych układach pomiarowych, natomiast w dużych obiektach przechodzi się na nowocześniejsze rozwiązania ze standardową magistralą komputerową.



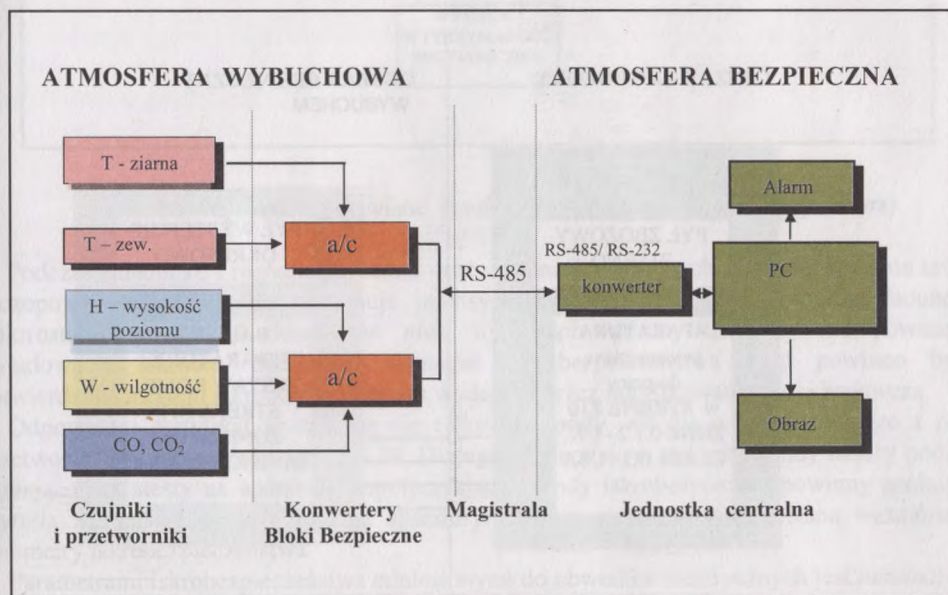
Rys. 17. System o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych

5.4 Ważniejsze wymagania na elementy i bloki funkcjonalne

- Wymagania ogólne

Wprowadzenie przeciwybuchowych systemów monitorowania wykonanych w technice iskrobezpiecznej jest kolejnym etapem rozwojowym w zakresie poprawy bezpieczeństwa. Ma on na celu wykonanie i zainstalowanie takich obwodów elektrycznych, aby spełniając swoją funkcję nie stały się one przyczyną powstania wybuchów. Konstrukcja obwodów tych obwodów ma również nie dopuścić do przeniesienia ewentualnego wybuchu z ich wnętrza do otaczającej przestrzeni. Z biegiem lat budowano coraz większe obiekty o wysokim zapyleniu. Zwiększała się również liczba eksplozji. W celu ich ograniczenia zastosowano metody analogowe i cyfrowe w technice iskrobezpiecznej. Ten okres jest obecnie rozbudowywany i bezpośrednio związany z komputeryzacją przemysłu. Na rys. 18. przedstawiono system iskrobezpieczny, w którym w obszarze o największym zagrożeniu wybuchowym, np. wewnątrz komór elewatora, znajdują się sondy pomiarowe z czujnikami temperatury i inne czujniki oraz przetworniki.

W przykładowym systemie monitorowania prowadzi się pomiar temperatury ziarna za pomocą wieloczujnikowych sond, pomiar temperatury na zewnątrz i wewnątrz magazynu. W komorach elewatora prowadzony jest również pomiar wysokości zasypu ziarna za pomocą czujników bezstykowych i stykowych. W najlepiej wyposażonych elewatorach prowadzi się jeszcze pomiary zawartości CO i CO₂ w atmosferze nad warstwą ziarna.



Rys.18. Schemat blokowy iskrobezpiecznego systemu monitorowania

Sygnały elektryczne z czujników i współpracujących z nimi przetworników doprowadzane są do multiplexerów (koncentratorów) i konwerterów interfejsów. Ponieważ system ma być iskrobezpieczny, więc czujniki i przetworniki muszą spełniać wymagania funkcjonalne i

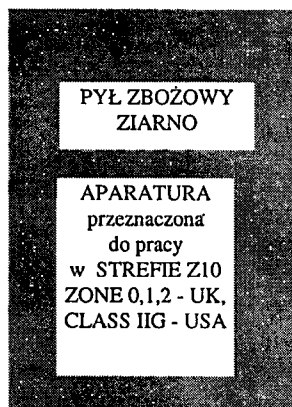
konstrukcyjne stawiane aparaturze przeznaczonej do pracy w atmosferze o wysokim zapyleniu pyłem ziarna zbóż.

Następnie sygnał przesyłowy prądowy lub magistralowy wychodzi ze strefy niebezpiecznej, zagrożonej wybuchem, do strefy bezpiecznej. Zgodnie z założeniami obwodów iskrobezpiecznych, dla oddzielenia obu stref stosuje się elementy „bezpieczne”, takie jak ograniczniki prądu i napięcia zwane diodowymi barierami ochronnymi lub barierami Zenera. W komputerowych systemach magistralowych stosuje się separatory z oddzieleniem galwanicznym. Często stosuje się separatory dwukierunkowe ze względu na komunikację z czujników do komputera i odwrotnie do czujników indywidualnie adresowanych. Parametry elementów oddzielających dobrane są do konkretnych systemów monitorowania. Magistralowy sygnał przesyłowy jest następnie w konwerterze zamieniony na sygnał magistrali z interfejsem RS-422 lub RS-485 umożliwiający przesył sygnału na odległość do 3 km. W odległej jednostce centralnej złożonej z komputera, sygnał jest ponownie przetwarzany na sygnał interfejsu RS-232 i doprowadzony do komputera. Na ekranie komputera odczytuje się wartości parametrów, prowadzi się ich archiwizację, przetwarza na wartości przyrostów temperatury np. w skali tygodnia czy miesiąca itp. Można również nastawiać temperatury graniczne powyżej których wystąpi alarm dźwiękowy lub optyczny.

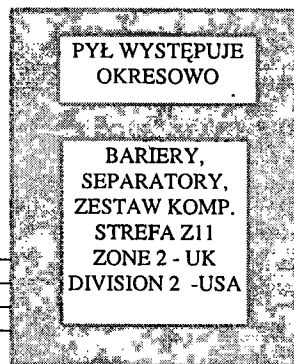
Źródłami zasilania czujników i przetworników, a także separatorów i konwerterów są specjalne zasilacze posiadające atesty dopuszczające do pracy w strefie Ex.

Na rysunku 19, dla ułatwienia czytelności literatury anglosaskiej, podano oznaczenia stref zagrożenia wg normalizacji krajowej, brytyjskiej i amerykańskiej.

OBSZAR ZAGROŻONY



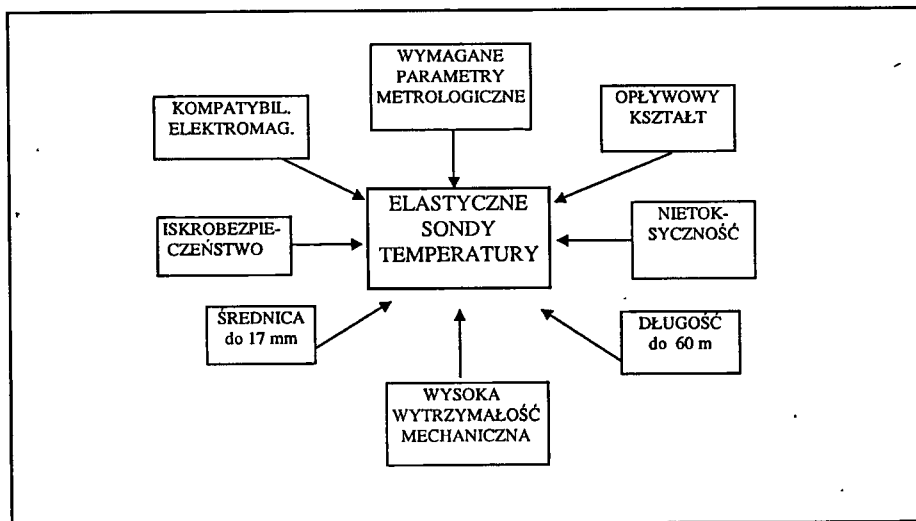
OBSZAR BEZPIECZNY WYBUCHEM



Rys.19. Iskrobezpieczny system monitorowania do magazynów zbożowych, wg klasyfikacji angielskiej UK i amerykańskiej USA

- Wymagania na sondy temperatury

W konstrukcji sond pomiarowych należy uwzględnić szereg wymagań przedstawionych na rys. 20. Szczególnie istotne są wymagania iskrobezpieczeństwa, ponieważ atmosfera otaczająca sondy charakteryzuje wysokie zapylenie panujące w silosach i komorach elewatora. Obwody czujników i przetworników sond są małej mocy, rzędu kilku mW, a prąd zwarcia nie przekracza 10 mA [66]. Nie ma więc zagrożenia powstania iskry. Takie zagrożenie może jednak powstać podczas rozładowania ładunku elektrostatycznego, który może wystąpić na pancerzu zewnętrznym sondy.



Rys. 20. Wymagania stawiane sondom temperatury (wg koncepcji autora)

Podczas załadunku i rozładowania komór oraz w stanach awaryjnych (po odblokowaniu tzw. zaczopowań zsypu ziarna) występuje intensywny ruch ziarna, który generuje ładunek elektrostatyczny [50]. Ładunek ten musi być odprowadzany tak, aby nie powstało wyładowanie iskrowe. Spełnienie wymagań iskrobezpieczeństwa sond powinno być potwierdzone atestem iskrobezpieczeństwa wydanym przez notyfikowaną stację badawczą.

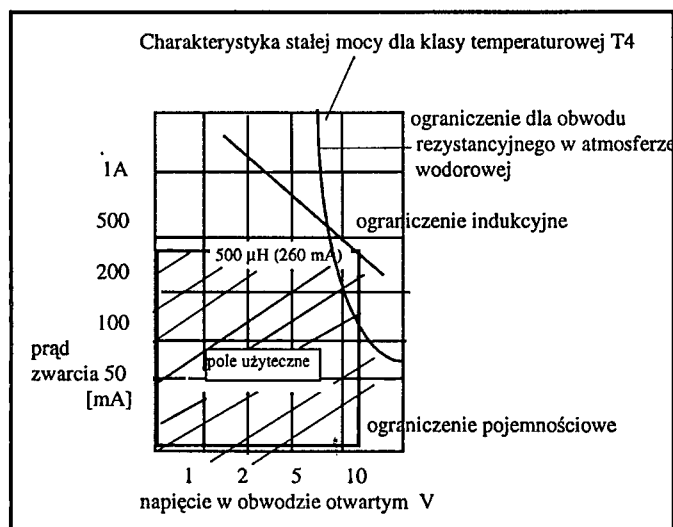
Odpowiedni certyfikat wydaje się nie tylko dla sondy, ale dla współpracującego z nią przetworników, separatorów itp., rys.18. Dlatego występując o atest dla sondy należy podać istniejące już atesty na aparaturę współpracującą. Sondy iskrobezpieczne powinny spełniać kryteria wymagane od tego rodzaju aparatury. Dlatego przedstawione zostaną ważniejsze parametry iskrobezpieczeństwa

Parametrami iskrobezpieczeństwa odniesionymi do obwodów elektrycznych jest *minimalny prąd zapalający* I_{zm} oraz *minimalne napięcie zapalające* U_{zm} , które charakteryzują wartości, poniżej których iskrzenie lub nagrzewanie nie spowoduje zapalenia mieszaniny wybuchowej w dowolnych stanach pracy.

Obwody iskrobezpieczne dzieli się na trzy kategorie: I_a , i_b oraz i_c .

Przynależność do odpowiedniej kategorii jest uzależniona od liczby uszkodzeń w awaryjnych stanach pracy.

Maksymalna temperatura powierzchni dla wszystkich kategorii iskrobezpiecznych badanej aparatury w stanach pracy normalnej i awaryjnej dla elementów konstrukcyjnych obwodów iskrobezpiecznych umieszczonych w przestrzeni zagrożonej wybuchem nie może przekroczyć wartości podanej w normach i podanych w publikacji MTL [155] i zaliczanej do odpowiedniej klasy temperaturowej. Dla większości zastosowań systemów monitorowania (sond) do magazynów zbożowych jest to *klasa T4*, dla której temperatura zapalenia w °C jest większa od 135 do 200, a maksymalna temperatura powierzchni elementów i podzespołów aparatury wynosi 135 °C. Przyjmuje się jako obwód iskrobezpieczny, obwód elektryczny o parametrach do 30 V i 50 mA. Traci tę właściwość obwód, w którym napięcie ma wartość powyżej 50 V i prąd powyżej 250 mA lub moc jest większa od 30 W z ograniczeniami zależnymi od charakteru obwodu – pojemnościowego lub indukcyjnego, jak to przedstawiono na rys. 21.



Rys. 21. Ograniczenie prądu i napięcia dla obwodu iskrobezpiecznego [155]

Iskrobezpieczeństwo sond pomiarowych wiąże się z wymaganiami na oporności ich obwodów: skrośnej i powierzchniowej. W obwodach iskrobezpiecznych powinno się również stosować elementy z odpowiednimi certyfikatami, np. zasilacze Ex, złącza, przewody, uzwojenia tłumiące, kondensatory tłumiące itp. [122, 123, 130, 131]. Parametry tych elementów zależą od przeznaczenia obwodu iskrobezpiecznego i jego konfiguracji, wymagań szczegółowych i dobierane są katalogowo w firmach specjalistycznych.

5.5 Wymagania dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego

Wprowadzane w UE normy bezpieczeństwa funkcjonalnego obejmują sektor procesowy oraz system sterowania [144, 145]. Dla rozpatrywanego systemu pomiarowego dotyczyć będzie obiektu przechowywania z występującym procesem metabolicznym oraz sprzętowy system monitorowania rejestrujący, a także sterujący tym procesem. Awaria procesowa, która może wystąpić w obiekcie przechowywania, mieści się w ogólnej definicji G.C. Eltentona „Awaria to inwazja nieprzewidzianego na nieprzygotowanym”. Funkcje ochronne powinny temu zapobiec. Przyczyny niespodziewane można określić analizując ryzyko. Oszacowanie ryzyka wymaga analizy wszystkich możliwych konsekwencji niechcianego zdarzenia. Ryzyko jest iloczynem konsekwencji i prawdopodobieństwa. Oszacowanie prawdopodobieństwa niechcianego zdarzenia może być złożonym wynikiem połączenia zdarzeń inicjujących oraz uszkodzenia urządzeń mających zapobiegać awariom. W przykładzie magazynu rolniczego, prawdopodobieństwo niechcianego zdarzenia jakim jest wytwarzanie nadmiernego ciepła może być spowodowane uszkodzeniem systemu monitorowania. Występuje integrowanie ryzyka i zamiana skutków prawdopodobieństwa ich wpływu na: ludzi, majątek, środowisko i zysk finansowy. Wymagana redukcja ryzyka dla przyrządowego systemu bezpieczeństwa jest różnicą pomiędzy ryzykiem podstawowym a stanem uznawanym za tolerowany. Ryzyko tolerowane może być katastrofalne dla $\lambda < 10^{-9}$, niebezpieczne dla $\lambda < 10^{-7}$ oraz ograniczone dla $\lambda < 10^{-5}$. Dla rozpatrywanego obiektu przechowywania można przyjąć ryzyko tolerowane, niebezpieczne i ograniczone. Proponuję przyjąć, dla systemu monitorowania, ryzyko ograniczone.

W 5 części normy [144] w rozdziale pt. „Alarp” wprowadza się klasy ryzyka. Najbardziej odpowiednią jest klasa III. Równocześnie wg klasyfikacji awarii pod względem ryzyka częstotliwości, powinno być okazjonalne z marginalnymi konsekwencjami..

SIL jest przypisywany do funkcji bezpieczeństwa, która zawiera różne bloki opisujące system: czujniki, bloki logiczne i elementy wykonawcze. Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL jest ryzykiem tolerowanym określonym przez iloczyn prawdopodobieństwa groźnego uszkodzenia i maksymalnej tolerowanej intensywności uszkodzeń. Dla czujników temperatury można założyć, że przy prawdopodobieństwie groźnego uszkodzenia $p_d = 3,3 \cdot 10^{-3}$, maksymalnej intensywności uszkodzeń:

$\lambda_d = 3,42 \cdot 10^{-7}/\text{godz.}$ poziom SIL wynosić będzie 2. Oprogramowanie systemu monitorowania oraz uszkodzenia oprzyrządowania można zaliczyć do SIL 3 i SIL 4.

Kolejnym parametrem bezpieczeństwa funkcjonalnego jest przyrządowy system bezpieczeństwa SIS. Obejmuje jedną lub więcej funkcji bezpieczeństwa, z których każda ma wymaganie SIL. Architektura systemu wraz z diagnostyką rozpatrywana jest zgodnie z procedurą 2002, która składa się z kanałów połączonych równolegle. W systemie monitorowania, poszczególne gałęzie czujników połączone są szeregowo równolegle. Uszkodzenie czujników w jednej gałęzi nie spowoduje uszkodzenia całego systemu monitorowania a jedynie niewielkiej jego części. Proste testy diagnostyczne umożliwiają lokalizację uszkodzeń. Prowadzone są w czasie dostępności tzw. czasu bezpieczeństwa procesowego. Nowsza norma [145] dotyczy tylko przyrządowych systemów bezpieczeństwa SIS przy założeniu, że znane są już klasyfikacje SIL. Obejmuje w szerszym zakresie złożone systemy bezpieczeństwa, np. systemy monitorowania i systemy regulacyjne. Struktura systemów wiąże się z zarządzaniem bezpieczeństwem funkcjonalnym, które można określić na podstawie wytycznych tej normy.

6. PROJEKTOWANIE SPECJALISTYCZNYCH ELEMENTÓW SYSTEMU MONITOROWANIA I AUTOMATYCZNEJ REGULACJI

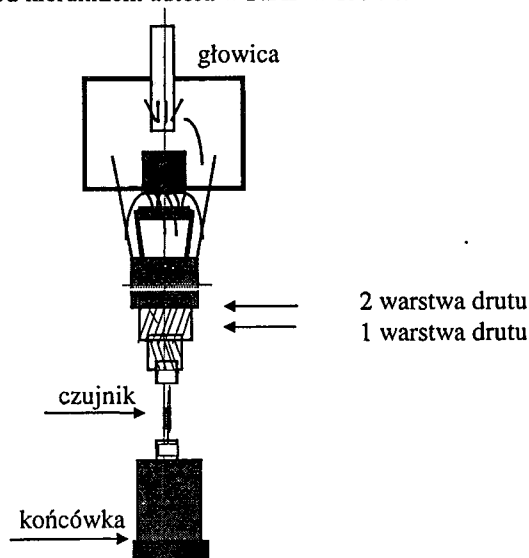
Sondy są najtrudniejszym elementem konstrukcyjnym układu pomiarowego temperatury i systemów monitorowania w elewatorach zbożowych. W stosunku do typowych sond przemysłowych różnią się od nich długością, obudową i wysoką wytrzymałością mechaniczną. Sondy do elewatorów mają długość od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów, zależną od wysokości komory, w której zostaną zawieszone. Sondę można porównać do wahadła z unieruchomionym punktem, którym jest jej głowica. Obudowa sond jest elastyczna, umożliwiającą niewielkie jej odchylenia od osi pionowej wyznaczonej położeniem grawitacyjnym. Kształtem podobne są do kabli energetycznych i stąd stosuje się często do nich nazwę angielską „*temperature cables*”. Do wnętrza obudowy sondy wsuwany jest wieloprzewodowy rdzeń z miniaturowymi czujnikami temperatury. Rdzeń można wymienić i czujniki sprawdzać, i jeśli to konieczne, zastąpić innymi nawet po zawieszeniu sondy w komorze elewatora. Zasada ta jest ściśle utrzymywana w sondach elastycznych przeznaczonych do komór elewatorów. Sondy do silosów, o mniejszej wytrzymałości mechanicznej, są nierozbieralne – bez oddzielnego wsuwanego rdzenia. Pierwsze krajowe sondy elastyczne do elewatorów powstały pod koniec lat siedemdziesiątych [42, 62] i od tego czasu opracowano już trzy następne typy tych sond. Różnica między poszczególnymi typami polega na znacznym zwiększaniu ich wytrzymałości mechanicznej przy zachowaniu tych samych wymiarów gabarytowych. Założono, że średnica zewnętrzna sondy nie powinna być większa od 17 mm. Początkowo miały one wytrzymałość mechaniczną na zerwanie rzędu 30 kN, a ostatnie trzykrotnie większą. Konieczność zwiększenia wytrzymałości mechanicznej wynikała z awaryjności sond o wytrzymałości 30 kN. Jest to spowodowane m.in. coraz częstszymi przypadkami składowania zboża tzw. pokombajnowego (zebranego kombajnem lub podobnymi maszynami rolniczymi) o dużej wilgotności zwiększającej obciążenie działające na sondy. Podobny, niepożądany wpływ mają też nowe konstrukcje komór elewatorowych szczególnie z bocznym zasypem. 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.

6.1 Konstrukcja mechaniczna sond temperatury

W stosunku do sond sztywnych: rurowych, laskowych itp. sondy elastyczne mają zdolność do zmiany swojego położenia pod wpływem intensywnego ruchu ziarna. Bez tej właściwości musiałyby ulec uszkodzeniu. Zwykle sondy są jednym końcem sztywno zamocowane w swojej głowicy, a drugi koniec sondy jest zupełnie wolny lub uchwycony 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 (sztywnych) w elewatorach i silosach kończyły się szybkim ich uszkodzeniem. W pierwszych wykonaniach sond czujniki temperatury były zalane powłoką wzmocnioną opłotem z drutów stalowych lub płaszczem z włókien szklanych [39]. Taką technologię stosuje się jeszcze w sondach

instalowanych w małych obiektach. Później opracowano technologię sondy dwuskładnikowej, rozbieralnej, z wsuwaniem i wysuwaniem rdzenia z czujnikami. Pancierz sondy zawieszony zostaje w komorze elewatora, a następnie wsuwa się do niego rdzeń z czujnikami. Wymiana nieprawidłowo działającego czujnika nie przedstawia dużej trudności, podobnie jak kalibracja sondy, ponieważ odbywa się bez demontażu całej sondy. Na tej zasadzie wykonuje się obecnie 90 % sond produkcji światowej przeznaczonych do dużych magazynów zbożowych. W latach 70. montowano 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. Została ona opracowana i opatentowana pod kierunkiem autora [153]. Od tego czasu powstały kolejne typy sond **HD** o coraz wyższej wytrzymałości mechanicznej i przy zachowaniu tej samej średnicy 16 mm. Zasada budowy sond **HD** przedstawiona jest na rys. 22, na przykładzie sondy opracowanej przez zespół pod kierunkiem autora w PIAP w 1996 r.



Rys. 22. Elastyczna sonda temperatury typu **HD** (wg koncepcji autora)

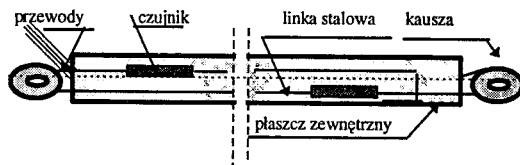
Pancerz sondy wykonany jest z rury polietylenowej średnicy wewnętrznej 8,5 mm, na którą nawinięto przeciwniebie 2 oploty z drutów stalowych o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej. Zewnętrzną powierzchnię pancerza stanowi płaszcz z polietylenu z odpowiednim wypełniaczem odprowadzającym ładunki elektrostatyczne. Materiał ten jest nietoksyczny w stosunku do środków żywności, do których należy ziarno zbóż. Pancerz ma średnicę zewnętrzną 16 mm z dopuszczalną tolerancją ± 1 mm. W górnej części znajduje się głowica z tuleją samo zaciskającą, w dolnej części pancerza umieszczona jest końcówka rozpirająca, do której można zamocować linki bocznego uchwytu. Rdzeniem jest wsuwany kabel telefoniczny z zamontowanymi w nim czujnikami temperaturowymi ze stalowym drutem usztywniającym. Ze względu na opory wsuwania kabel telefoniczny jest wzmocniony stalowym drutem usztywniającym, a zewnętrzną warstwą jest tylko powłoka estrofalowa z bardzo małym współczynnikiem tarcia. Sonda w zależności od przeznaczenia ma długość do 60 m, a czujniki temperatury zamontowane są w równych odległościach, na całej jej długości. W puszcze zaciskowej sondy, umieszczonej w stropie, oprócz głowicy znajduje się listwa

zaciskowa, do której podłączony jest kabel telefoniczny rdzenia i kabel zewnętrzny łączący sondę z szafą pomiarową i z koncentratorami systemu monitorowania. Sonda wytrzymuje siłę zrywającą, równą 90 kN.

Pierwsze krajowe sondy **HD** miały tylko jedną warstwę drutu i inaczej skonstruowaną rurkę, w którą wsuwany był rdzeń z czujnikami. Wytrzymałość sondy wynosiła 30 kN i była wówczas porównywalna do wzorców zagranicznych. Stanowiła duże osiągnięcie konstrukcyjne, ponieważ dzięki zakupie z renomowanych firm odpowiednich maszyn kablowych i inwencji własnej można było takie sondy wykonać.

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

Do silosów z ziarnem zbóż przeznaczone są sondy **MD** *Medium Duty Temperature Cables* (ang.) o wytrzymałości 10 kN i średnicy $\phi = 10$ mm. Sonda **MD** jest nierozbieralna. Czujniki zostały wmontowane w przewody nawinięte wzdłuż linki nośnej i zalane warstwą polietylenową, rys. 23. Linka zakończona jest po obu stronach kauszami (żeglarskimi). Na górnej zawieszona jest sonda, a na dolnej ją kotwiczony, tzn. za pomocą dodatkowej linki przytwierdza do dolnej lub bocznej powierzchni zbiornika, uniemożliwiając w ten sposób obrót lub przesunięcie.



Rys. 23. Sonda do silosów typu **MD** (wg koncepcji autora)

W sondach typu **MD** czujników jest kilka (2-3). Zawieszona jest w górnej części silosu pod lejem zasypowym. Przez przepusty w płaszczu silosu wyprowadza się okablowanie sondy do połączeń zewnętrznych. Montaż sondy nie jest łatwy i prowadzi się go w pustym silosie. Od prawidłowego montażu w znacznym stopniu zależy żywotność sondy.

6.2 Czujniki temperatury

W sondach stosowane są miniaturowe czujniki temperatury, tabl. 6. Zmiana temperatury powoduje zmianę jednego z parametrów elektrycznych np. rezystancji w czujnikach rezystancyjnych [111, 128]. Zależność ta jest w pierwszym przybliżeniu liniowa w funkcji temperatury. Wyjątek stanowią czujniki termistorowe typu NTC, w których rezystancja maleje nieliniowo w funkcji temperatury [42, 154]. Utrudnieniem w zastosowaniu tych czujników w systemach wielo-czujnikowych jest rozrzut charakterystyk poszczególnych czujników, wymagający indywidualnego wzorcowania. Wprawdzie od niektórych producentów można otrzymać termistory po dokładnej selekcji charakterystyk, ale koszt ich jest bardzo wysoki. Niewątpliwą zaletą tych czujników jest ich miniaturyzacja i duże zmiany rezystancji w funkcji temperatury. Wcześniejsze układy termistorowe wchodziły w skład układów mostkowych z bezpośrednim zasilaniem. Nie stosowano układów wzmacniających, które były zawodne i wprowadzały dodatkowe błędy. Po wprowadzeniu wzmacniaczy scalonych o wysokich parametrach metrologicznych układy termistorowe stosowane są w

prosty systemach pomiarowych z niewielką liczbą czujników, ze względu na konieczność indywidualnej kalibracji czujników. Dotychczas, w blisko 80% ogólnej liczby wieloczujnikowych sond pomiarowych wyprodukowanych w Europie zainstalowane są czujniki termistorowe.

Na kontynencie amerykańskim sytuacja jest inna. Sondy amerykańskie mają fabrycznie zamontowane czujniki termoelektryczne.

Podsumowanie

Obecna sytuacja ulega zmianie z kilku powodów:

- * Została opanowana technologia napyłania warstw metalowych na ceramikę, dzięki czemu uruchomiono produkcję miniaturowych czujników metalowych z platyny, miedzi i niklu. Opracowano również nowe układy przetwornikowe LSI współpracujące z czujnikami metalowymi. Zasilanie „aktywne” tych przetworników umożliwia stosowanie sieci dwuprzewodowej z kompensacją rezystancji przewodów łączących czujnik z przetwornikiem.
- * Czujniki półprzewodnikowe, które pojawiły się w ostatnich 10 latach począwszy od prostych struktur krzemowych do LSI, okazały się bardzo dobre szczególnie w temperaturach -55°C do 150°C . Według przewidywań [6], zastąpią one wkrótce czujniki metalowe i termistorowe. Na ich bazie pojawiły się już czujniki inteligentne (smart sensors), które przejmują również wiele dotychczasowych funkcji przetworników i innych układów mikroprocesorowych współpracujących z czujnikami.
- * W sondach elastycznych i laskowych, opracowanych w PIAP w ciągu ostatnich 5 lat, zastosowano już czujniki półprzewodnikowe firm amerykańskich oznaczone LM, AD i DS, oraz KTY i TC – oznaczone przez firmy europejskie, a ostatnio czujniki inteligentne [24, 99, 157]. Najważniejsze parametry czujników półprzewodnikowych podane są w tabl. 6. Charakterystyki czujników (rezystorów) termometrycznych: Pt 100, Ni 100, Cu 100 przedstawione są w odpowiednich normach przedmiotowych [129] i publikacjach [42, 57].
- * Pojemność cieplna czujników półprzewodnikowych jest mała ze względu na ich rozmiary. Inercję czujników, zależną od pojemności cieplnej i intensywności wymiany ciepła z otoczeniem, dla czujników wbudowanych w sondy elastyczne praktycznie można pominąć. W pewnych jednak warunkach, przy intensywnym wzroście temperatury w niekontrolowanym procesie samozagrzewania, inercja cieplna czujnika będzie powodowała opóźnienie w działaniu części regulacyjnej współpracującej z systemem monitorowania. Dlatego wskazane jest przy doborze czujników do obiektów przewidzianych do sterowanej wentylacji, aby ich bezwładność cieplna (inercja) była niska.
- * Przedstawione konstrukcje elastycznych sond pomiaru temperatury zapoczątkowały prace krajowe nad ich przemysłowym wdrożeniem, a także przyczyniły się do rozpowszechnienia systemów monitorowania w elewatorach zbożowych. Konstrukcja sond została opatentowana [153], a prawo do ich produkcji wg tego wynalazku zostało przekazane kilku producentom. Obecnie prace autora, a także innych wytwórców koncentrują się nad powiększeniem wytrzymałości mechanicznej sondy i zmniejszeniu jej średnicy, a także nad zastosowaniem nowych miniaturowych czujników temperatury. Natomiast zachowana jest sama koncepcja sondy, z wytrzymałym mechanicznie pancierzem i wysuwanym rdzeniem z miniaturowymi czujnikami. Sondy te znalazły również zastosowanie w innych dziedzinach, np. w metalurgii do pomiarów temperatury pyłów formierskich itp.

Tablica 6. Półprzewodnikowe czujniki stosowane do pomiarów temperatury ziarna.

Oznaczenia: T – tranzystor, D – dioda, TE – termistor, IC – obwód scalony, SS – czujniki typu „smart”

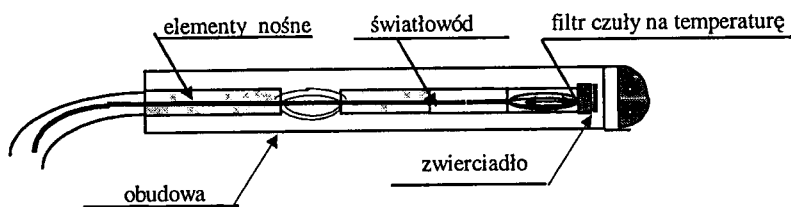
Lp.	Typ	Budowa	Firma (kraj)	Zakres pomiarowy, °C	Sygnał wyjściowy	Współczynnik temperaturowy	Błąd liniowości °C	Stała czasowa, s
1.	LM135 LM235 LM335	IC	National Semicond. (USA)	-55÷150	0 ÷ 5 mA zalecany - 1 mA	10 mV/ K 1 µA/ K	0,3 ÷ 0,5	80 s na wolnym powietrzu, 1 s w oleju
2.	AD580 AD590	IC	Analog Dev. (USA)	-40÷150	298,2 µA dla 25 °C	11 µA/ K	0,3	0,6 s z płytą aluminiową 1,4 s w oleju, 60 s w powietrzu
3.	B511N	IC	RFT (Niemcy)	-55÷150	298,2 µA dla 25 °C	0,8 ÷ 1,2 µA/ °C	1,0	brak danych
4.	MTS12 MTS13 MTS15	T	Motorola (USA)	-40÷150	0,01 ÷ 10 mA 580 ÷ 620 mV I _c = 0,1 µA przy 25 °C	od 2,26 mV/ °C od 2,28 mV/ °C	1,0 w temperaturze -20 do 140	3 s w cieczy, 8 s w powietrzu
5.	KTY11 KTY81 KTY84	D	Valvo (Niemcy)	-50÷150 -50÷150 -60÷300	2000 Ω dla 1 mA 1000 Ω dla 1 mA 600 Ω dla 1 mA	0,79 %/ K 0,79 %/ K 0,61 %/ K	1,0	3 s w cieczy
6.	NRZ3K	TE typNTC	ZPA(Czechy)	0÷50	10 300Ω dla 0 °C 1 055 Ω dla 50 °C	R ₂₅ = 3 000 Ω	nietliniowy	
7.	DS18 B20	SS 1-wire	Dallas (USA)	-55÷125	wyjście cyfrowe (9-12 bitów)			

6.3 Czujniki optoelektroniczne temperatury

Czujniki optoelektroniczne zostały opracowane i spopularyzowane w ciągu ostatniej dekady XX wieku. Początkowo znalazły one zastosowanie w urządzeniach pracujących w silnych polach elektromagnetycznych, w technice jądrowej, przy wysokim napięciu itp. Wstępne prace, zainicjowane przez autora, dotyczyły zbadania możliwości wykonania w kraju czujnika z płytki półprzewodnikowej z arsenku galu – GaAs. Dalsze prace powinny doprowadzić do umieszczenia czujnika w światłowodzie, a następnie wykonanie wieloczujnikowych sond do zdalnego pomiaru temperatury [1, 3, 13, 70].

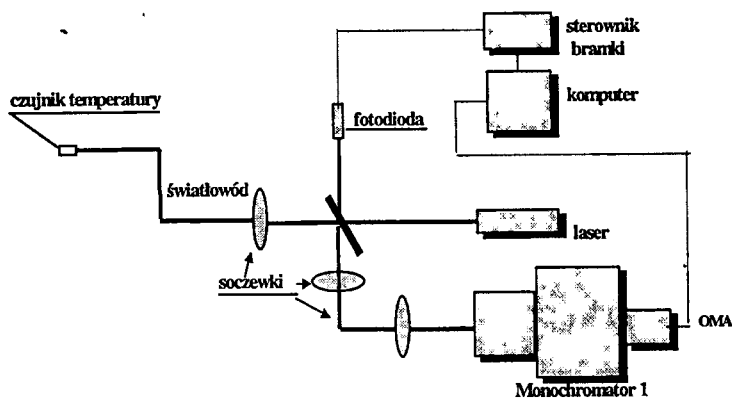
Zasada pracy oparta jest na zjawisku absorpcji i na analizie ramanowskiej intensywności częstotliwości pasm stokesowskich i antystokesowskich. W ramach tych prac najbardziej obiecująca okazała się metoda oparta na zmianie samego progu absorpcji w funkcji temperatury.

Czujnik temperatury wykonano z GaAs, rys 24. Początkowo płytka GaAs była oświetlana jednym światłowodem, a po przejściu strumienia świetlnego (w paśmie podczerwieni) przez płytkę mierzono jego intensywność. Kolejnym etapem była analiza strumienia odbitego przez płytkę GaAs.



Rys. 24. Światłowodowy czujnik temperatury (wg koncepcji autora)

Czujnik światłowodowy jest elementem układu pomiarowego, rys. 25. Realizacja tego układu wymaga zastosowania monochromatorów pracujących w paśmie podczerwieni.



Rys. 25. Układ pomiarowy temperatury ze światłowodem [13]

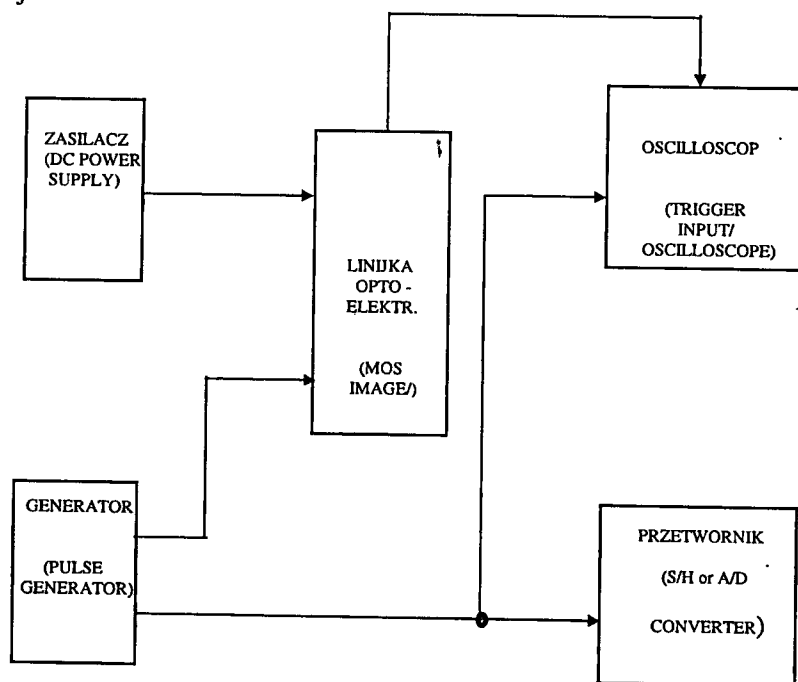
Uzyskana dokładność czujników optoelektronicznych była gorsza od dokładności tradycyjnych czujników temperatury i wynosiła $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, ale powtarzalność pomiarowa była wysoka i porównywalna z czujnikami np. Pt 100 [108, 124].

Układ przedstawiony na rys. 25 jest stosowany w laboratoriach – w układach doświadczalnych itp., natomiast układ z rys. 26 może być stosowany w układach przemysłowych. Model układu powstał w PIAP i zbudowany jest z bloków firmy japońskiej Hamamatsu. Odbity w czujniku strumień świetlny jest doprowadzony do liniiki optycznej. Odchylenie strumienia spowodowane zmianą temperatury w stosunku do strumienia wzorcowego w określonej temperaturze jest miarą aktualnej temperatury. Temperaturę można odczytać na ekranie oscyloskopu lub na monitorze komputera przez przetwornik A/D i odpowiedni interfejs.

Wnioski

- * Czujniki optoelektroniczne mają dokładność mniejszą od czujników rezystancyjnych ale wystarczającą, aby je zabudować w elastycznych sondach wieloczujnikowych. Czujniki te mogą być również stosowane w magazynach płaskich do pomiarów temperatur ekstremalnych np. $40-50^{\circ}\text{C}$.

Koncepcja zastosowania czujników optoelektronicznych do pomiarów temperaturowych w ziarnie zbóż przedstawiona została bardzo ogólnie na podstawie prac PIAP wykonanych w ramach projektu badawczego dla KBN. Szersze informacje na ten temat można znaleźć w wymienionych już publikacjach, a także w doniesieniach z ostatnich konferencji IMEKO. Świadczą one o dużym zainteresowaniu tą tematyką i stanowią poszerzenia obszaru aplikacji.



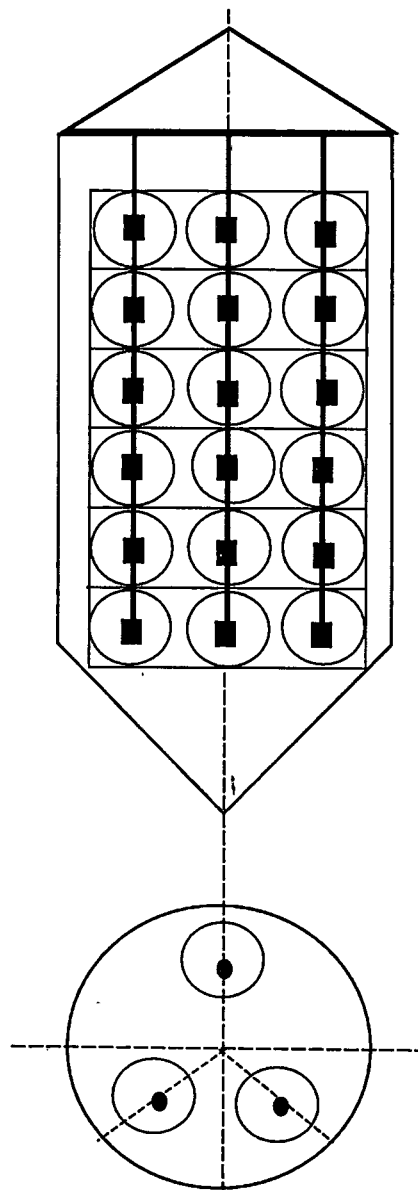
Rys. 26. Układ sterowania do czujnika optoelektronicznego z blokami firmy Hamamatsu (wg koncepcji autora)

6.4 Rozmieszczenie czujników i sond temperatury

Na przyczyny samozagrzewania ziarna zbóż mamy ograniczony wpływ, natomiast od projektantów zależy dokładność jego lokalizacji i szybkość przeciwdziałania, a w związku z tym wielkość poniesionych strat przechowalniczych. Z badań przebiegu pól temperaturowych wynika, że wyraźny wzrost temperatury występuje w odległości $R = 1,5$ m w każdym kierunku od źródła samozagrzewania. Obszar podwyższonej temperatury występuje także w większej odległości, sięgającej nawet do 3 m. Zakładając, że w przestrzeni zbiornika, wypełnionej ziarnem, powstaną źródła samozagrzewania, to będzie można je wykryć, jeśli czujnik temperatury będzie umieszczony wewnątrz lub na powierzchni kuli o średnicy równej $2r$ (czyli 3 m) zgodnie z rys. 27. Na tym założeniu oraz na międzynarodowych przepisach dotyczących procedury pomiarowej [119, 120] oparto metody projektowania rozmieszczenia punktów pomiarowych.

Pierwsza metoda projektowania punktów pomiarowych polegała na podziale całej objętości użytkowej zbiornika komory na prostopadłościany o wymiarach 3 m x 3 m x 3 m lub na kule o średnicy 3 m. Powstaje zbiór prostopadłościanów, szczególnie przydatny w przypadku zbiorników o podstawie prostokąta, oraz zbiór złożony z kul, przydatny do zbiorników w kształcie walca. W środku każdej z figur siatki umieszczono czujnik pomiarowy (rys. 72). Metoda ta nie była zbyt dokładna, ponieważ zakładała wykrywalność źródła podwyższonej temperatury w odległości 1,5 m. Kierunek poprawy wykrywalności stref niebezpiecznych, o podwyższonej temperaturze, teoretycznie mógł polegać na zmniejszeniu wymiarów figur geometrycznych siatki o połowę. Przeszkodą była przyjęta wówczas technologia wytwarzania sond pomiarowych i trudności w umieszczeniu w nich dużej liczby czujników pomiarowych. Założono, że średnica sond elastycznych nie będzie większa od 16-17 mm, przy długości od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Można więc było w sondach zbudować nie więcej niż kilkanaście miniaturowych czujników. Strop, do którego zamocowane są sondy, ma ściśle określoną wytrzymałość, dostosowaną do przewidywanych [144] dotyczące liczby sond temperatury w komorze oraz liczby czujników pomiarowych w sondzie obciążeń tych sond, dlatego zmiany rodzaju sond wymagają dużych zmian w konstrukcji budowlanej magazynów. W Rosji i Mołdawii zastosowano w magazynach sondy o średnicy 25 mm i w konsekwencji stropy musiały być blisko trzykrotnie wytrzymalsze.

Norma międzynarodowa [120] w swoim drugim wydaniu przewiduje jednak, że punkty pomiarowe powinny być umieszczane w odległości nie większej niż 3 m od siebie w każdym kierunku, czyli ogólna liczba czujników wzrasta dwukrotnie w stosunku do zaleceń normy pierwszego wydania (zalecano wówczas 5 m), a siatka figur geometrycznych jest dwa razy gęstsza. Taki układ czujników jest obecnie możliwy do zrealizowania, ponieważ udało się zmienić konstrukcję sond temperatury. Górne punkty pomiarowe, zgodnie z normą, powinny się znajdować w odległości od 1 m do 2 m poniżej spodziewanej powierzchni ziarna i 0,5 m powyżej powierzchni dolnej (podłogi w magazynach płaskich). Ponadto norma precyzuje czas ustalenia temperatury pomiarowej i zalecaną dokładność pomiarową. Po zanurzeniu sondy w masie ziarna czas osiągnięcia ustalonej temperatury nie powinien przekroczyć 3 min. Czujniki pomiarowe umieszczone w sondzie temperatury, powinny wykrywać zmianę temperatury $0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie temperatury pracy od 0 do 70°C . W tablicach 7 i 8 przedstawiono również zalecenia firmy Foss El [154].



Rys. 27. Zasada gwiazdowego rozmieszczenia sond temperatury w komorze elewatora o $d = 9$ m z siatką elementarną prostopadłościenną i kulową
(wg badań autora)

Tablica 7. Zalecana liczba sond temperatury w komorach elewatora zbożowego

Komora o średnicy, w m	7	10	13	17	19
Pole przekroju, w m ²	<35	35-70	70-110	110-150	>250
Liczba sond w komorze, szt.	1	3	4-5	5-6	12

Tablica 8. Optymalna liczba czujników w jednej sondzie temperatury

Długość sondy, m	Liczba czujników temperatury, szt.
0 - 5	1
5 - 10	2
10 - 15	3
15 - 20	4
20 - 25	5
25 - 30	6
30 - 35	7
35 - 40	8
40 - 45	9
45 - 50	10

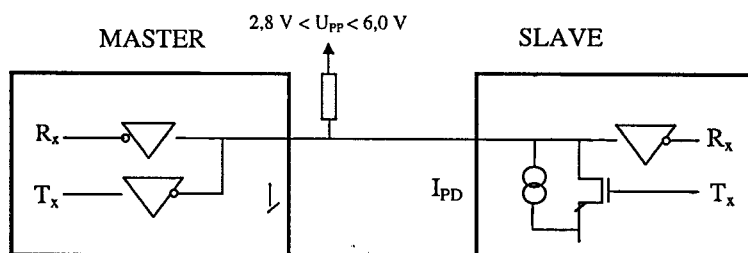
Podsumowanie i wnioski

Odpowiednie rozmieszczenie sond pomiarowych w komorze elewatora zbożowego ma istotne znaczenie na właściwą pracę systemu monitorowania:

- * W masie ziarna czujniki sondy, a także najbliższe czujniki między sąsiednimi sondami powinny być umieszczone w odległości nie większej niż 3 m. Podstawą do tego stwierdzenia jest rozkład pól temperaturowych spowodowany działaniem źródła samozagrzewania, rys. 8,
- * Tabele opracowane przez znane firmy określają liczbę sond i czujników w sondzie w zależności od wysokości i średnicy (pola przekroju) komory elewatora. Zachowana jest w nich zgodność z założoną odległością 3 m, niewielkie rozbieżności występują ze względu na oddziaływania chłodzące płaszcza zewnętrznego komory i jej budowy, rys.2.
- * Stosowanie, ze względów oszczędnościowych, zbyt małej liczby sond i czujników temperatury niż podają tabele i obliczenia, powoduje kontrolę tylko części obiektu. Taki system monitorowania nie zapewnia bezpieczeństwa przeciwwybuchowego, co jest warunkiem dopuszczenia elewatora do obrotu towarowego wewnątrz Unii Europejskiej.

6.5 Implementacja czujników inteligentnych w iskrobezpiecznych systemach monitorowania

Projektowanie systemów pomiarowych z czujnikami rezystancyjnymi i z wyjściami analogowymi prądowymi i napięciowymi wymaga uwzględnienia wielu przewodów łączących czujniki z odległą częścią centralną złożoną z zestawu komputerowego. Czujniki inteligentne o angielskiej nazwie „smart sensors” lub „intelligent sensors” można łączyć równolegle w sieci dwuprzewodowej, co znacznie ułatwia ich montaż, serwis itp. W publikacjach firmy Dallas sieć taką nazwano 1-Wire * [78, 156]. Obwód elektryczny jest zamknięty przez „masę”. Sieć 1-Wire może współpracować z czujnikami typu smart, które są indywidualnie adresowane. Sieć ta zwana również jako MicroLAN bazuje na komputerze typu PC lub kontrolerze komunikującym się drogą cyfrową poprzez skręconą parę kabli z urządzeniami sieciowymi, rys. 28. Jest to sieć typu MASTER/SLAVE zdefiniowana poprzez architekturę otwartego drenu tranzystora wyjściowego, w której do wymuszenia stanu „1” używa się rezystora dołączonego do znamionowego napięcia zasilania +5 V. System zawiera 3 główne elementy: MASTER sieci z programem pracy, przewody z odpowiednimi konektorami oraz urządzenia sieciowe typu SLAVE. Wszystkie operacje sieciowe wykonywane są pod kontrolą MASTERA.



Rys. 28. Uproszczony schemat sieci 1-Wire

Funkcję MASTERA sieci może pełnić jakikolwiek mikrokontroler z zegarem 1,8 MHz lub szybszym, jak również komputer PC z układem transmisji szeregowej (UART) 115,2 kb/s. Przy standardowej prędkości transmisji w sieci 1-Wire 14,4 kb/s ($115,2/8 = 14,4$ kb/s), mikrokomputer może zaadresować i rozpocząć transmisję danych w czasie krótszym niż 7 milisekund.

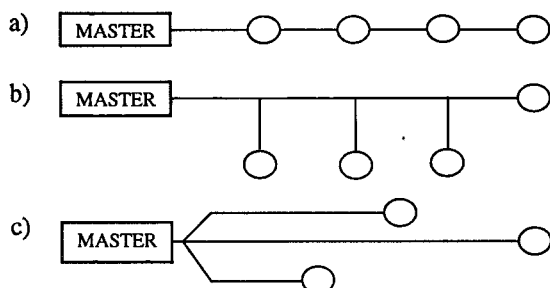
Protokół sieci 1-Wire stosuje konwencjonalne poziomy sygnałów logicznych technologii CMOS/TTL, w których 0,8 V lub mniej odpowiada logicznemu zeru, a 2,2 V lub więcej reprezentuje logiczną jedynkę. Dopuszczalne napięcie zasilania sieci zawiera się w granicach 2,8 V do 6 V. MASTER oraz urządzenia typu SLAVE umożliwiają zarówno odbiór, jak i nadawanie (półdupleks).

Każde urządzenie podporządkowane zawiera pamięć ROM z indywidualnym 64-bitowym numerem seryjnym, który może być traktowany jako adres węzła sieciowego. Adres ten składa się z ośmiu bajtów podzielonych na 3 grupy. Pierwszy bajt adresu (zaczynając od LSB)

* Uwaga: Oznaczenia dotyczą tylko tego podrozdziału ze względu na ujednolicenie z oznaczeniami producenta

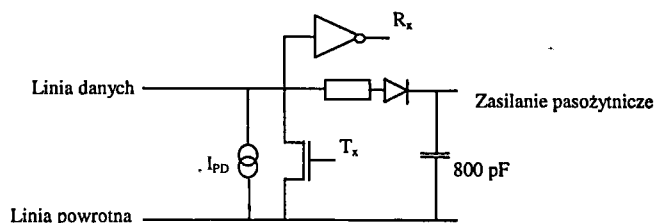
określa typ urządzenia. Następne 6 bajtów zawiera indywidualny adres urządzenia, a ostatni bajt jest sumą kontrolną CRC, której wartość zależy od poprzednich 7 bajtów. Pozwala to MASTEROWI określić, czy adres został przeczytany bez błędu.

Struktura sieci 1-Wire może być dowolnie kształtowana. Zwykle można ją jednak zakwalifikować do jednej z kilku głównych kategorii pokazanych na rys. 29.



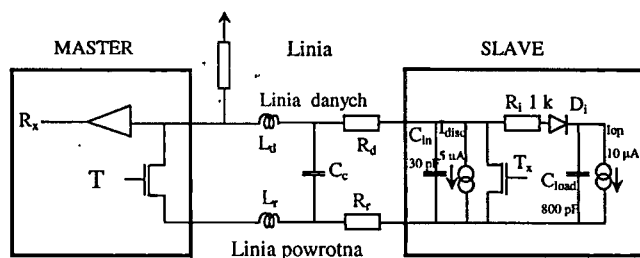
Rys. 29. Typowe topologie sieci jedнопrzewodowej: a) struktura liniowa, b) liniowa z odgażeniami, c) struktura gwiazdista

Dla sieci 1-Wire zostały wprowadzone dwa istotne parametry, które charakteryzują jej właściwości i są krytyczne dla poprawnej pracy sieci. Są to promień sieci i waga sieci. Promień sieci oznacza bieżącą długość sieci pomiędzy wyjściem interfejsu 1-Wire MASTERA, a najbardziej odległym od niego urządzeniem sieci, liczoną w metrach. Waga sieci jest całkowitą długością przewodu sieci, również liczoną w metrach. Waga sieci wpływa na czas narastania sygnału w sieci, podczas gdy promień decyduje o czasie najwolniejszych sygnałów odbitych. Promień sieci 1-Wire nie może przewyższać 750 metrów. Przy tej odległości protokół transmisyjny przestaje działać z uwagi na opóźnienia czasowe. W praktyce jednak wpływ jeszcze innych czynników powoduje ograniczenie promienia do jeszcze mniejszych wartości. Wpływ na wagę sieci ma wiele czynników, jednak najważniejszym z nich jest pojemność elektryczna sieci. Obecność urządzeń podporządkowanych także zwiększa wagę sieci. Każde urządzenie sieciowe jest równoważne dodaniu do sieci pewnej ilości przewodu sieciowego. Urządzenie typu przycisku wnosi około 1,0 metra, a pozostałe rodzaje urządzeń około 0,5 metra. Ścieżki układów scalonych, łączówki i urządzenia zabezpieczające także zwiększają wagę sieci. Istnieją metody umożliwiające tworzenie rozbudowanych sieci drogą dzielenia sieci na sekcje załączane elektronicznie. Stosując układy przełączające takie jak DS2409 firmy Dallas, sieć może fizycznie przypominać inną topologię niż topologia widziana elektrycznie. Na przykład topologia gwiazdy, po dodaniu kluczy, może odpowiadać topologii liniowej, w której kolejno załącza się poszczególne gałęzie. Pozwala to na znaczną redukcję wagi sieci. Urządzenia podporządkowane sieci nie wymagają osobnego zasilania. Napięcie zasilające może być uzyskiwane bezpośrednio z sieci w czasie przerwy w komunikacji, kiedy sieć jest w stanie wysokim. Układ zasilania pasożytniczego, to jest zasilania bezpośrednio z sieci, pokazany jest na rys. 30. Kondensator zasilania pasożytniczego jest ładowany, kiedy linia danych znajduje się w stanie wysokim. Napięcie to jest utrzymywane także podczas stanu niskiego linii transmisyjnej.



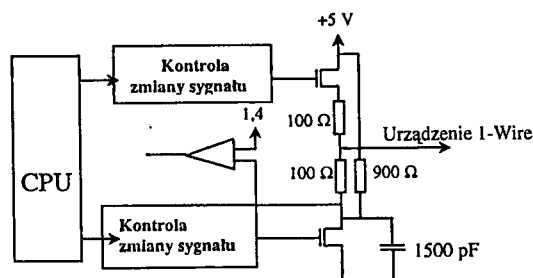
Rys. 30. Zasilanie pasożytnicze urządzeń sieci 1-Wire

Uproszczony schemat zastępczy sieci przedstawiony jest na rys. 31. Okablowanie pomiędzy MASTEREM a urządzeniami podporządkowanymi zostało zamodelowane przez rezystancje i indukcyjności przewodów oraz przez pojemność kabla. Pojemność kabla zależy od jego długości, w przypadku zalecanego do stosowania kabla telefonicznego kategorii 5 wynosi ona około 50 pF/m. Podobnie można oszacować rezystancję kabla. Urządzenia sieciowe typu SLAVE można zamodelować przez pojemność wejściową (C_{in}), w przybliżeniu stały prąd obciążenia, obwód zasilania pasożytniczego zrealizowany na elementach D_i , R_i oraz pasożytniczy prąd zasilania I_{op} . Prąd wejściowy 5 μ A pobierany przez urządzenie jest niezbędny do synchronizacji jego interfejsu z protokołem komunikacji. Gdy tranzystor w porcie urządzenia 1-Wire przewodzi, jego impedancja jest nominalnie mniejsza od 100 Ω , co zapewnia napięcie zera logicznego nie większe od 0,4 V przy prądzie 4 mA. Jeśli wiele urządzeń dołączonych jest do sieci jedнопроводowej, to wartości C_{in} , I_{disc} , I_{op} i C_{load} powinny być pomnożone przez liczbę urządzeń, a wartość rezystancji R_i powinna być podzielona przez liczbę urządzeń. Rezystancja kabla wpływa na zmniejszenie marginesu dopuszczalnych zakłóceń przy stanie „zero” linii, natomiast pojemność kabla oraz zasilanie pasożytnicze urządzeń wpływają na ograniczenie rozmiarów sieci. Indukcyjność kabla wpływa na powstawanie pików sygnału przy zmianach stanu linii.



Rys. 31. Schemat zastępczy sieci 1-Wire

Szereg czynników wpływa na wielkość maksymalnego promienia i maksymalnej wagi sieci. Na niektóre z nich możemy mieć wpływ, na inne nie. Końcówka MASTERA znacznie wpływa na dopuszczalny rozmiar sieci jedнопроводowej. Musi ona dostarczać potrzebną ilość prądu, niezbędną do pokonania wagi sieci i urządzeń podporządkowanych. Musi także organizować przebiegi czasowe sygnałów występujących na linii, które powinny być zgodne z wymaganiami i zoptymalizowane ze względu na czasy ładowania i rozładowywania sieci.



Rys. 32. Zaawansowany układ drivera sieci jedнопrzewodowej.

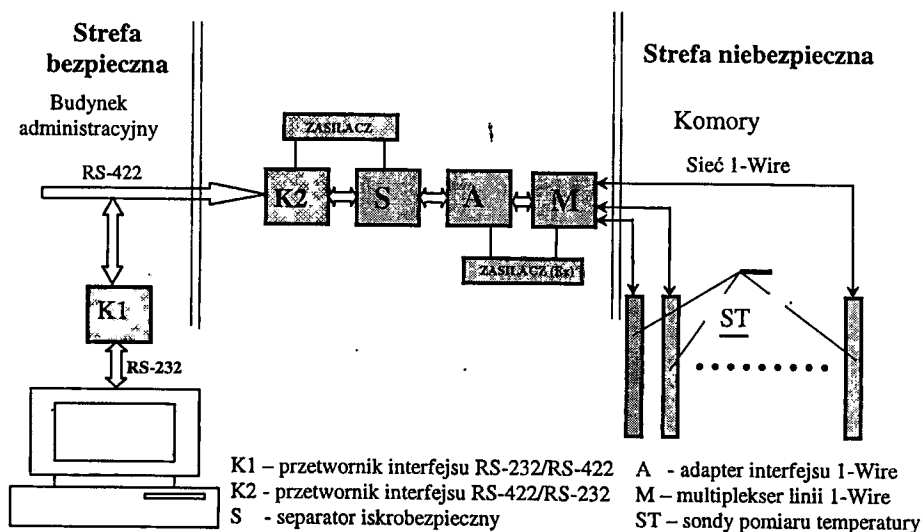
Przy małych sieciach wystarczają interfejsy z bardzo prostymi końcówkami. Pojemność sieci jest mała, sygnały odbite pojawiają się zbyt szybko, aby mogły spowodować problemy, minimalne są również straty przesyłowe na sieci. Jako końcówka interfejsu może być stosowany prosty układ zwierny (FET) do wymuszania stanu niskiego linii oraz pasywny rezystor dla stanu wysokiego. Jednak, gdy sieć staje się dłuższa i dołączonych zostaje coraz więcej urządzeń, zaczynają odgrywać rolę złożone oddziaływania, z którymi interfejs musi sobie poradzić. Waga sieci jest ograniczona przez możliwość dostatecznie szybkiego ładowania i rozładowywania sieci, potrzebnego do spełnienia wymagań protokołu transmisyjnego. Pojedynczy rezystor zastosowany w interfejsie do wymuszenia stanu wysokiego ogranicza wagę do 200 m. Niektóre bardziej złożone układy interfejsu w MASTERACH stosują aktywne układy znajdujące się pod kontrolą układów logicznych i operujące większymi prądami. Pozwalają one na obsługę sieci o wadze do 500 m, ale dzieje się to kosztem znacznie bardziej złożonego wyjścia interfejsu MASTERA.

Mikrokontroler z zaawansowanym interfejsem, wzmiankowany powyżej, jest nowym układem łączącym w sobie zalety wszystkich poprzednich układów, który zapewnia niezawodność i elastyczność. Uproszczony schemat tego interfejsu pokazany jest na rys. 32. Zawiera on inteligentny (programowo sterowany) układ kontroli zmiany sygnału. Zestawienie parametrów sieci w zależności od stosowanych interfejsów podane jest w tabelicy 9. Zła praca sieci jedнопrzewodowej objawia się często tajemniczym „znikaniem” urządzeń dołączonych do sieci w czasie wykonywania algorytmu przeszukiwania sieci przez MASTERA.

Tabela 9. Dopuszczalne parametry sieci w zależności od interfejsu sieci

Rodzaj stopnia wyjściowego sieci 1-Wire	Elementy dodatkowe	Maksymalna waga sieci	Maksymalny promień sieci
Zwykły szeregowy port mikrokontrolera	Rezystor 2 220 Ω do zasilania 5 V	3 m	3 m
Tranzystor typu FET do wymuszenia stanu niskiego	Rezystor 1 000 Ω do zasilania 5V	200 m	200 m
Układ portu równoległego DS1410E	Nie wymaga	3 m	40 m
Układ portu szeregowego DS9097	Nie wymaga	3 m	40 m
Adapter interfejsu DS9097U (zawierający układ DS2480B)	Filtr RC R = 100 Ω , C = 4 700 pF	200 m	200 m
Zaawansowany interfejs sieciowy (w opracowaniu)	Nie wymaga	500 m	500 m

Zastosowanie czujników typu „smart” wymaga oddzielenia galwanicznego sieci MASTER-SLAVE od magistrali interfejsu. W tym celu proponuje się przekształcenie sygnału z sieci 1-Wire na interfejs RS-232 oraz na RS-485. Magistrala powinna być zabezpieczona barierami Zenera lub separatorami bipolarnymi zgodnie z wymaganiami techniki iskrobezpiecznej. Schemat blokowy iskrobezpiecznego systemu monitorowania temperatury został przedstawiony na rys. 33. Urządzenia systemowe zostały rozmieszczone w trzech strefach. Sondy (ST) wraz z czujnikami temperatury oraz przewody 1-Wire znajdują się w strefie niebezpiecznej, zagrożonej wybuchem. Sieć jest dwuprzewodowa, a termometry cyfrowe pracują w trybie zasilania pasożytniczego. Adapter (A) sieci interfejsu 1-Wire zawierający driver interfejsu oraz multiplexer (M), zbudowany z kluczy elektronicznych, znajdują się na pograniczu strefy bezpiecznej i strefy częściowo zagrożonej wybuchem. Multiplexer pozwala na kolejne załączanie poszczególnych sond pomiarowych. Adapter interfejsu oraz multiplexer zasilane są napięciem +5 V pochodzącym z iskrobezpiecznego zasilacza. Z uwagi na dużą odległość pomieszczeń operatorskich od silosów, sieć 1-Wire nie mogła być bezpośrednio doprowadzona do budynku administracyjnego, w którym został umieszczony komputer zarządzający siecią wraz z oprogramowaniem aplikacyjnym. Z tego względu, urządzenia sterowni zostały połączone z urządzeniami znajdującymi się w strefie częściowo zagrożonej wybuchem, siecią RS-422. Wymagało to użycia przetworników interfejsu: przetwornika (K1) typu RS-232/RS-422 umieszczonego w pobliżu komputera oraz przetwornika (K2) typu RS-422/RS-232 w strefie częściowo zagrożonej wybuchem. Rozdzielenie sygnałów strefy niebezpiecznej od sygnałów strefy bezpiecznej dokonuje się za pomocą iskrobezpiecznego separatora (S).



Rys. 33. Schemat iskrobezpiecznego układu pomiaru temperatury z czujnikami inteligentnymi z siecią 1-Wire w elewatorach zbożowych [80]

Podsumowanie i wnioski

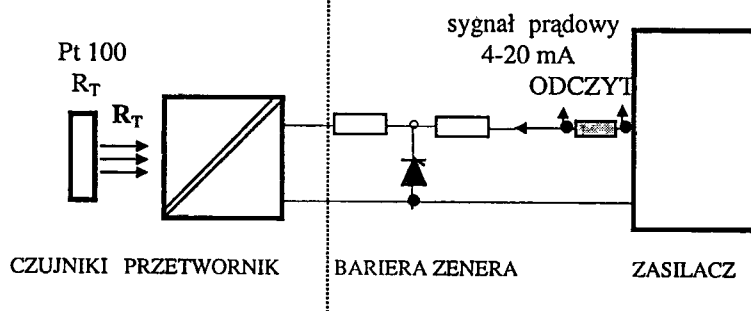
- * Implementacja czujników inteligentnych została przedstawiona na przykładzie czujników firmy Dallas, które stosowane są w sieci MicroLAN, 1 – Wire,
- * Przedstawiona topologia tych czujników w sondach pomiarowych w elewatorach zbożowych sprowadza się do liniowej z rozgałęzieniami jak to przedstawiono na rys. 29. Nie wyklucza się również innych topologii, ale w pierwszych obiektach krajowych, w którym ją zastosowano, uzyskano całkowicie poprawne jej użytkowanie,
- * Adresowane indywidualnie czujniki w połączeniu równoległym okazały się bardzo łatwe w strojeniu i serwisie. Ich parametry są wystarczająco dobre a cena ich jest znacznie niższa w porównaniu z innymi czujnikami temperatury.
- * Ze względu na oddziaływanie pojemności okablowania zewnętrznego na sygnał cyfrowy, stwierdzono, że wystarczająca dobra dokładność pomiarów występuje po zastosowaniu oddzielaczy tzw. couplerów (ang.) zastosowanych w sekcjach złożonych z 2 sond 10 czujnikowych i z 30 m kablami między sondami i przetwornikami sygnałów z 1-Wire na RS-232.

6.6 Iskrobezpieczne układy analogowe i cyfrowe

Przeciwybuchowe systemy monitorowania można wykonać w następujący sposób: przez zastosowanie obudowy obwodów elektrycznych uniemożliwiającej przeniesienie się ewentualnego wybuchu wewnątrz obudowy na zewnątrz, przez zwiększenie niezawodności elementów elektronicznych, przez wykonanie obwodów elektrycznych w sposób iskrobezpieczny [16]. W niniejszej pracy stosowane będą te trzy sposoby. W systemach monitorowania będą stosowane tylko takie obudowy, które przeznaczone są do pracy w warunkach Ex. Obwody elektroniczne będą odpowiednio wzmocnione niezawodnościowo. Dlatego najważniejsze zadanie projektowania będzie skierowane na konstrukcji układów iskrobezpiecznych. Obecnie stosowane są dwie struktury systemów monitorowania: ze standardowym sygnałem prądowym i z magistralą komputerową. Na rys. 34 przedstawiony jest jeden z torów pomiarowych systemu analogowego. Sygnał elektryczny z czujników umieszczonych w strefie zagrożonej wybuchem jest doprowadzony do przetworników R/I, a następnie do barier lub separatorów iskrobezpiecznych, których zadaniem jest ograniczenie przepływu prądu do wartości nie wywołującej zapłonu pyłów zbożowych. Dalej sygnał doprowadzany jest do strefy bezpiecznej, w której znajduje się aparatura pomiarowa. Pełny system monitorowania składa się z wielu torów, a dla ograniczenia liczby kabli w linii przesyłowej stosowane są analogowe multipleksery i demultipleksery. Stosowanie sygnału prądowego, w zdalnym odczycie, eliminuje dotychczasowe błędy spowodowane wpływem odległości na wartość odczytanej temperatury. We wcześniejszych układach pomiarowych mostkowych stosowane były kompensacje rezystancji przewodów łączących za pomocą dodatkowych linii łączących lub rezystorów wyrównawczych.

OBSZAR ZAGROŻONY WYBUCEM

OBSZAR BEZPIECZNY

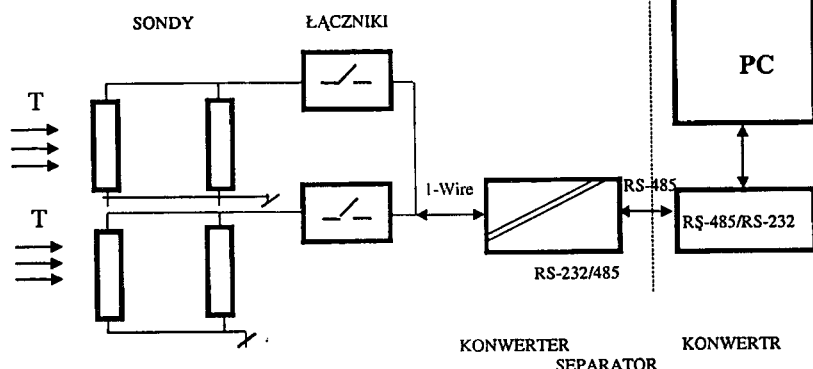


Rys. 34. Tor pomiarowy w iskrobezpiecznym systemie monitorowania ze standardowym sygnałem prądowym

Rozwój techniki mikroprocesorowej przyczynił się do rozpowszechnienia iskrobezpiecznego systemu monitorowania z magistralą interfejsu typu RS. Zastosowano w nim czujniki z wyjściem analogowym lub cyfrowym, konwertery, magistrale interfejsu i separatory dwukierunkowe. Tor pomiarowy przedstawiony jest na rys. 35. W systemach monitorowania temperatury stosowane są obecnie miniaturowe czujniki z wyjściem cyfrowym dostosowanej do sieci jedнопrzewodowej (1-Wire system) w sieci MicroLAN z interfejsem szeregowym. W sieci 1-Wire stosowane są, szczególnie w aplikacjach w obiektach magazynowych, łączniki elektroniczne - couplery (ang.), których zadaniem jest cykliczne załączanie odpowiednich gałęzi pomiarowych. Podłączenie równoczesne wszystkich gałęzi pomiarowych spowodowałoby dołączenie dużych pojemności, które powodują zniekształcenie cyfrowego sygnału pomiarowego. Wszystkie czujniki można poprzez couplery łączyć równolegle, co znakomicie upraszcza okablowanie systemu sprowadzonego tylko do dwóch przewodów. Można to zrealizować dzięki indywidualnemu adresowaniu, przez producenta, czujników i dodatkowego rozdziału również adresowanych torów pomiarowych. Odczyt i wybór odpowiedniego czujnika i torów pomiarowych przeprowadza się za pomocą klawiatury komputera i opracowanego programu. Dlatego w magistrali komputerowej RS, konwerterach i separatorach konieczny jest przepływ sygnałów w obu kierunkach: z komputera inicjującego pomiary z wybranych czujników i torów pomiarowych oraz, w odwrotnym kierunku, ich odczyt na monitorze komputera i ewentualnie przetwarzanie danych i ich archiwizację. Dzięki stosowaniu przetworników w magistrali i stosowaniu RS-485 lub RS-422 odczyt może być prowadzony zdalnie w odległości nawet do kilku kilometrów i w obszarze całkowicie bezpiecznym.

OBSZAR ZAGROŻONY WYBUCHEM

OBSZAR BEZPIECZNY

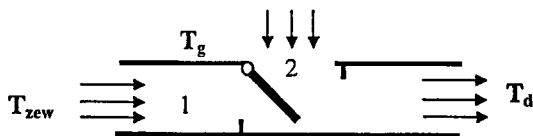


Rys. 35. Iskrobezpieczny system monitorowania z magistralą RS-485

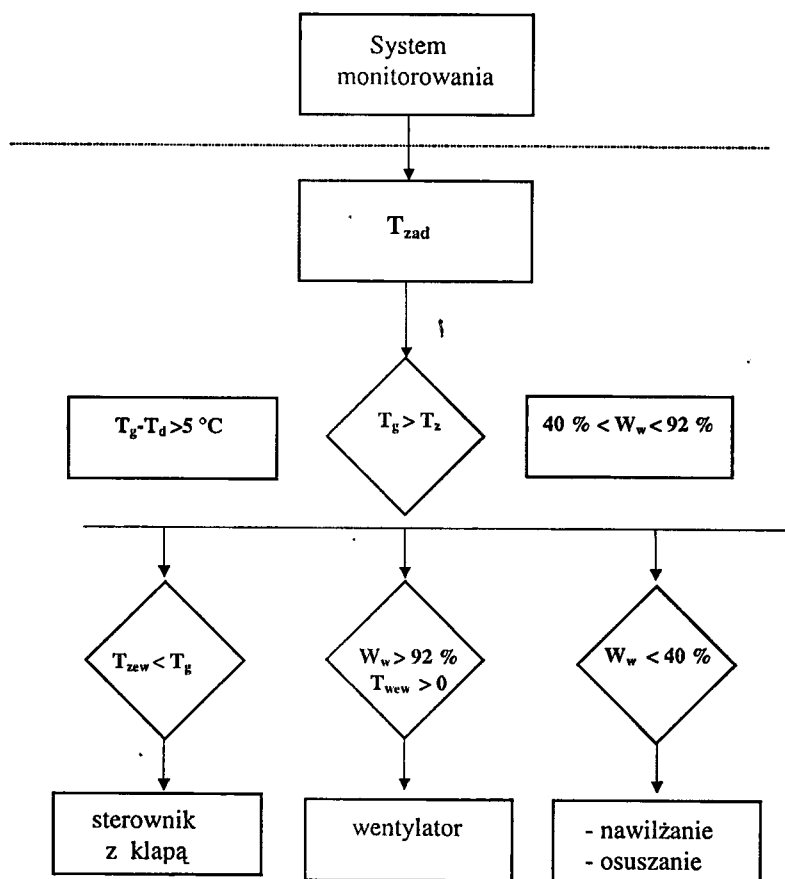
6.7 Układy automatycznej regulacji

W niedużych obiektach, w wykorzystaniu uniwersalnym, na przechowywanie ziarna, warzyw, owoców i ziemniaków oprócz systemu monitorowania stosowany jest system regulacyjny UAR. Opis i struktury tego systemu przedstawione były we wcześniejszych publikacjach autora [42]. Dlatego w niniejszym opracowaniu podane będą tylko zasady pracy i współdziałania z systemem monitorowania. Zadaniem systemu regulacyjnego jest utrzymywanie temperatury, a także wilgotności składowanego produktu, zgodnie z założonym cyklem technologicznym. Stosowana jest aktywna wentylacja powietrzem o odpowiednim przepływie, schłodzonym lub ogrzanym i o założonej wilgotności. Przykładem jest magazyn płaski przedstawiony na rys. 4, złożony z boksów. Przy zewnętrznych ścianach budynku magazynu znajdują się czerpnie powietrza wentylacyjnego, zewnętrznego - atmosferycznego i wewnętrznego - z przechowalni. Powietrze dostarczone pod pryzmę składowanych produktów, rys. 38, ma temperaturę T_d zależną od T_{zew} i T_g poprzez regulowane ustawienie położenia kłapy lub żaluzji, rys. 36. Założony algorytm sterowania uzależnia czas pracy wentylatorów do około pół godziny ze względu na możliwość zbyt dużego przesuszenia lub przeschłodzenia składowanego produktu. Wentylatory powinny być włączone, jeśli temperatura wewnątrz pryzmy T_{sr} jest większa od T_z , oraz $T_g - T_d \geq 5^\circ\text{C}$. Jeśli warunki atmosferyczne, np. w zimie, uniemożliwiają odpowiednie wymieszanie powietrza do wartości temperatury wynikającej z przyjętego algorytmu, a różnica temperatur między warstwą górną i dolną pryzmy wskazuje na konieczność załączenia wentylacji, wówczas wentylator załączy się przy pozycji 1 kłapy, rys. 36, to znaczy, że wentylacja będzie prowadzona powietrzem wewnętrznym. Wilgotność produktów jest utrzymywana, zgodnie z realizowanym cyklem przechowywania i regulowana przez sterownik i urządzenia schładzające lub nawilżające powietrze wentylacyjne. Informacje z systemu monitorowania dotyczą temperatur trzech warstw pryzmy: dolnej, górnej i środkowej. Temperatura T_{sr} traktowana jest jako wartość regulowana i porównywana z wartością zadaną. Pozostałe wartości temperatur

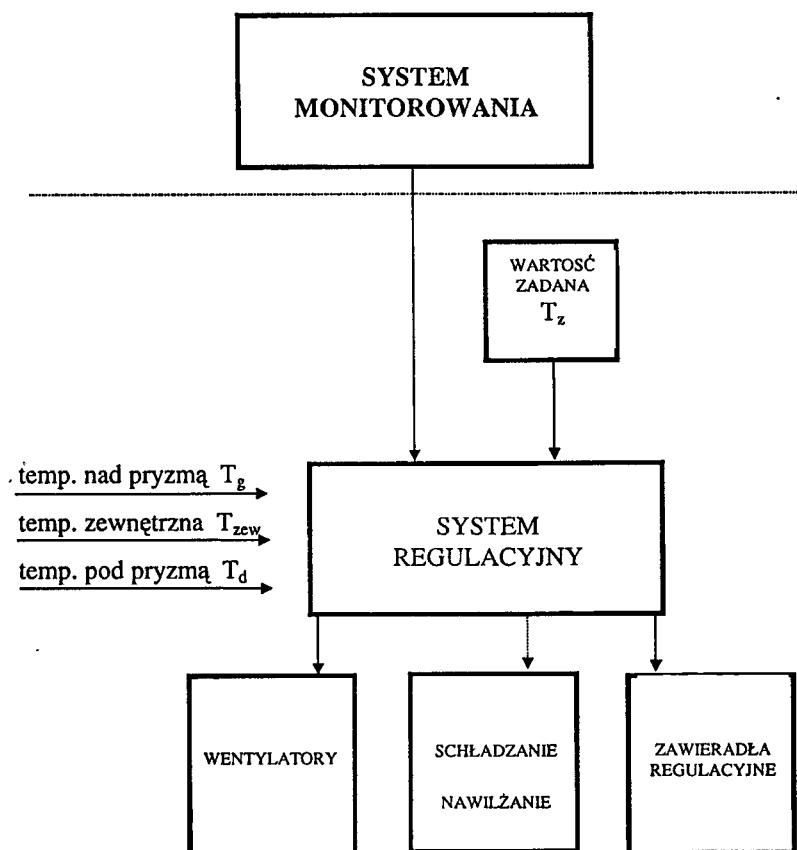
wykorzystywane są do realizacji algorytmu sterowania zgodnie z rys. 38. Aparatura systemu regulacyjnego umieszczana jest w pomieszczeniach bezpiecznych, a zawieradła regulacyjne (klapy z siłownikami) muszą być dostosowane do warunków pracy w otoczeniu o dużej wilgotności sięgającej nawet 90 % W_w . Urządzenia schładzające i nawilżające zainstalowane w pobliżu wentylatorów muszą spełniać wymagania szczegółowe dotyczące pracy w atmosferze magazynu płaskiego.



Rys. 36. Mieszanie powietrza wentylacyjnego z użyciem kłapy



Rys. 37. Algorytm systemu regulacji



Rys. 38. System regulacyjny i monitorowania w magazynach rolniczych

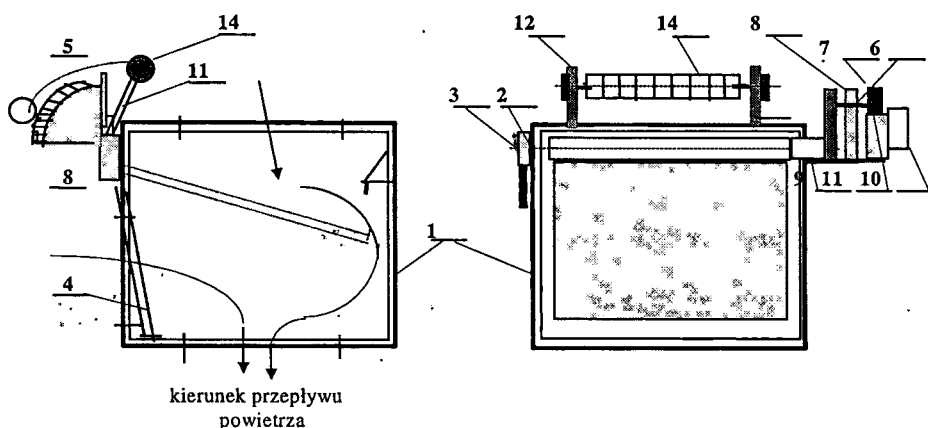
6.8 Zawieradła regulacyjne

Do zawieradeł regulacyjnych zalicza się kłapy wentylacyjne, przepustnice, zasuw, a także żaluzje. Założoną i stałą temperaturę powietrza wentylacyjnego otrzymuje się, mieszając w odpowiednim stosunku powietrze atmosferyczne (na zewnątrz magazynu) z powietrzem tworzącym mikroklimat wewnątrz. Realizacja praktyczna polega na sterowaniu położeniem zawieradeł regulacyjnych, doprowadzających powietrze wejściowe do wentylatorów. Zawieradłem regulacyjnym nazywane są kłapy, zasuw i przepustnice z napędami. Od zawieradeł wymaga się spełnienia następujących funkcji i rozwiązań konstrukcyjnych:

- szczelności zamykania otworów wentylacyjnych,
- niezawodnego ustawienia w każdym położeniu regulacyjnym,
- izolacji termicznej między powietrzem zewnętrznym i wewnętrznym magazynu,
- zdalnego sterowania ręcznego i w układzie UAR,
- w zespole sterownik – zawieradło elektryczny sygnał wejściowy powinien spowodować ściśle określone położenie zawieradła,
- sterowania ręcznego w przypadku uszkodzenia własnego napędu,

- samohamowności w przypadku zaniku sygnału sterującego lub przerwy w zasilaniu,
- odporności na warunki pracy w magazynie, tzn. o dużej wilgotności względnej do
- 92 %, odporności na drgania i wstrząsy mechaniczne spowodowane pracą sprzęgniętych z klapami wentylatorów, odporności na wysokie zapylenie środowiska itp.,
- energooszczędności napędu.

Na podstawie powyższych wymagań opracowano dokumentację i wykonano klapę wentylacyjną (przepustnicę powietrza), której badania były przeprowadzone w IBMER. Badania wypadły pozytywnie. Kilka tego typu klap zostało zainstalowanych w obiektach magazynowych i w ciągu długiego okresu pracy nie stwierdzono nieprawidłowości w ich działaniu, rys. 39. Klapę o wymiarach gabarytowych 1 m x 1 m napędza elektryczny siłownik małego gabarytu wahlwy, wyposażony w silnik Ferrarisa o $P = 6$ W, sterowany bezpośrednio z sieci, wg koncepcji autora [152], oraz przez sterownik typu ADF [50]. Ponadto w siłowniku zastosowano bezstykowy-indukcyjny nadajnik położenia korby w celu zwiększenia jego żywotności i odporności na wysoką wilgotność. Na wale siłownika (10) osadzona jest dźwignia (11) zakończona nacięciem widełkowym do zazębienia z zapadką (6) i z klapą. Przetawienie z napędu ręcznego na siłownikowy wymaga więc zmiany położenia zapadki, którą przeprowadza się w sposób technicznie prosty. Ciężar kłapy jest zrównoważony za pomocą dobieranych ciężarków (14) w celu zmniejszenia momentu koniecznego do napędu kłapy. Zastosowanie zrównoważenia przeciwwagą umożliwiło zastosowanie małego siłownika zasilanego z sieci jednofazowej zamiast wcześniej projektowanego napędu z siłownikiem trójfazowym o mocy 1500 W.

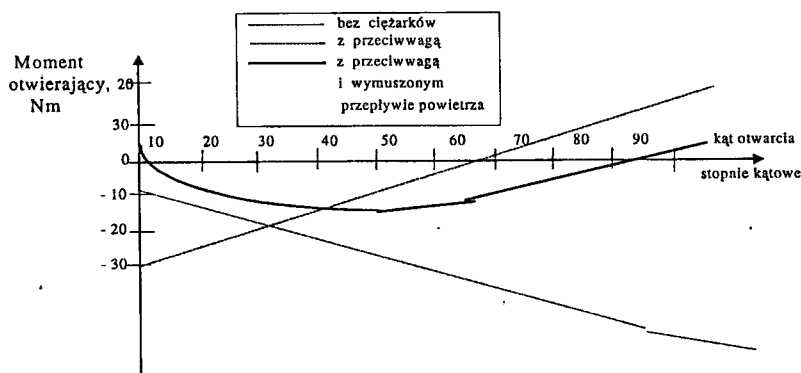


Oznaczenia:

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1 – klatka | 8 – grzebień zębaty |
| 2 – łożyska | 9 – wspornik siłownika |
| 3 – wał | 10 – siłownik |
| 4 – klapa | 11 – dźwignia siłownika |
| 5 – dźwignia | 12 – wieszak |
| 6 – uchwyt do ster. ręcznego | 13 – pręt |
| 7 – sprężyna | 14 – ciężarki |

Rys. 39. Klapa wentylacyjna z napędem elektrycznym (wg badań autora) [152]

Zysk energetyczny jest tu oczywisty. Sterownik i napęd zapewniają ściśle odwzorowanie sygnału wejściowego, którym jest zunifikowany sygnał stałoprądowy. W zależności od wartości tego sygnału klapa ustawiona jest w odpowiednim kątowym położeniu.



Rys. 40. Przebieg momentu otwierającego klapę wentylacyjną, wg badań autora

Na rys. 40 przedstawiono przebieg momentu otwierającego klapę wentylacyjną bez ciężarków, ze zrównoważoną przeciwwagą oraz z tą przeciwwagą i z wymuszonym przepływem powietrza. Przebieg wymuszony powietrza jest wytwarzany przez wentylator umieszczony powyżej klapy wentylacyjnej.

Z przedstawionych przebiegów widać wyraźnie zmniejszanie się momentu otwierającego klapę przy zastosowaniu ciężarków i wymuszonego obiegu powietrza. Wpływa to na poprawność działania oraz na oszczędność energii elektrycznej, zużywanej do napędu jednej tylko klapy. Licząc, że w magazynie średniej wielkości zainstalowanych jest kilkanaście lub nawet kilkadziesiąt klap, oszczędność energetyczna będzie już wyraźnie widoczna.

Podsumowanie

Zawieradła regulacyjne stanowią bardzo istotny element UAR i, niezależnie od struktury UAR, spełniają przedstawione wymagania. Napęd elektryczny zawieradeł regulacyjnych, przeznaczonych do magazynów na produkty sypkie i ziarniste, jest znacznym odbiornikiem energii elektrycznej. Konstrukcja klap wykonana zgodnie z przedstawionym przykładem wpływa na wyższą energooszczędność w porównaniu z dotychczas stosowanymi konstrukcjami, dlatego została z powodzeniem wdrożona w kilku magazynach płaskich.

7. BADANIA SOND TEMPERATURY

Badania miały na celu stwierdzenie spełnienia lub odrzucenia wymagań normatywnych i podawanych w katalogach parametrów sond renomowanych producentów traktowanych jako wzorce oraz określenie rzeczywistych parametrów nowo opracowanych sond. Wymagało to opracowania metod pomiarowych i stanowisk badawczych, a także określenia analitycznych zależności np. oddziaływań mechanicznych i porównania z wartościami rzeczywistymi. Jest również szereg cech charakterystycznych dla sond dotychczas nie ujętych wymaganiami. Mogą być one przedmiotem zainteresowania konstruktorów i eksploatorów zarówno sond, jak i systemów monitorowania. Zaliczono do nich inercję cieplną sondy oraz obojętność chemiczną sondy w stosunku do ziarna zbóż, które jest produktem spożywczym. Obojętność tę można określić nietoksycznością osłony zewnętrznej sondy i nie tworzeniem z ziarnem trujących toksyn. Przedstawiono również wyniki badań sond, wykonanych przez ZD GIG Kopalnia Barbara, które stanowiły podstawę wydania certyfikatu iskrobezpieczeństwa.

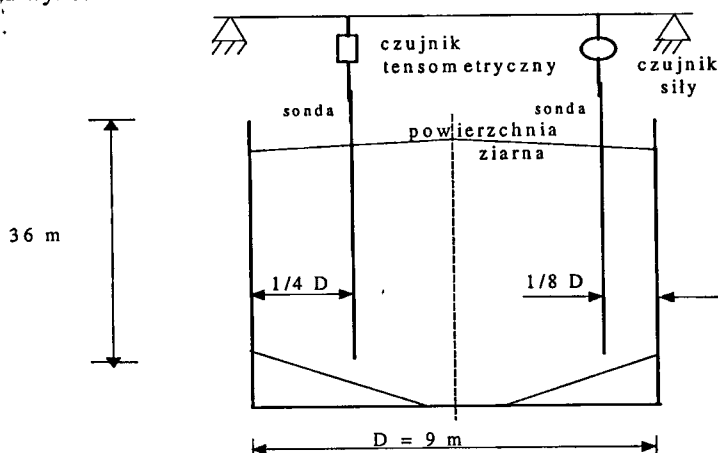
7.1 Obciążenie mechaniczne sond

Wytrzymałość mechaniczna sondy na zrywanie jest bardzo ważnym parametrem, ponieważ od niej zależy przydatność sondy do konkretnego obiektu. Dąży się do zainstalowania sond o wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Nie zawsze jest to uzasadnione konstrukcją elewatora, w którym można zastosować sondy np. o niższej wytrzymałości i niższym koszcie. Producenci sond traktują ten parametr jako gwarancję długotrwałej pracy, a jego sprawdzenie stanowi duży problem wymagający specjalistycznej aparatury i ustalenia właściwej metodyki badań. W kilku wizytowanych skandynawskich i niemieckich biurach konstrukcyjnych [42, 43, 62] zastosowano różne metody pomiarowe. Wyniki pomiarów wytrzymałości mechanicznej sond były zbieżne, ale obarczone innymi błędami. Dlatego wartość tego parametru, bez podania metodyki jego sprawdzania, może być traktowana jako element walki konkurencyjnej producentów sond. Opublikowane wyniki badań dotyczą sond zawieszonych w obiektach doświadczalnych z wyselekcjonowanym ziarnem. Z tego powodu, dla większości zastosowań, nie są one miarodajne. Podjęcie własnych badań (przedstawionych poniżej) miało na celu określenie przydatności wyników zagranicznych do warunków krajowych.

• Badania sił działających na sondę

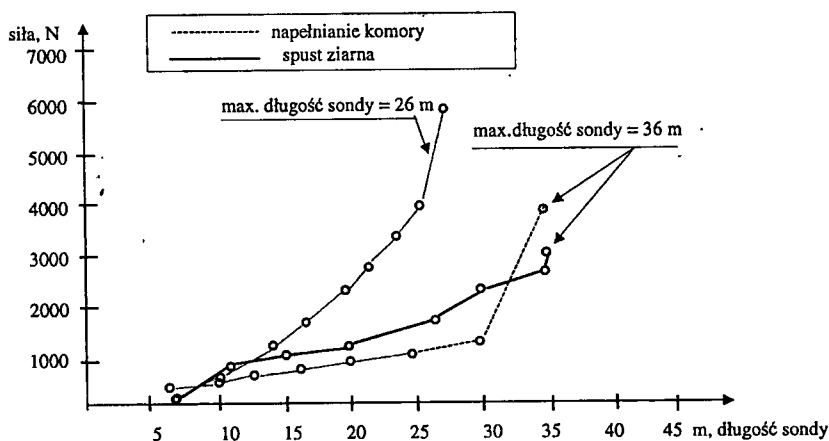
Badania przeprowadzono w warunkach rzeczywistych, w wydzielonej komorze, w czasie normalnej eksploatacji elewatora [40, 61]. Badania wykonano na stanowisku składającym się z czujników do pomiaru siły i ze statywu, rys. 41. Zastosowano indukcyjny czujnik siły DiR3-5.0 (PIMR-Poznań) oraz czujnik tensometryczny CN-10 (ZD-IMŻ, Gliwice). Czujnik indukcyjny umożliwiał przeprowadzenie zdalnych, orientacyjnych pomiarów. Błąd jego wskazań nie przekracza $\pm 3\%$. Dokładne pomiary wykonywano za pomocą czujnika tensometrycznego o czułości 1 mV na 1 V napięcia zasilania 12 V, 50 Hz i dokładności $\pm 0,1\%$ wartości napięcia przy obciążeniu znamionowym. Głowica sondy pomiarowej została zawieszona do sztywnej belki poprzecznej. Badania prowadzone były podczas zasypu, zsyphu ziarna i podczas długotrwałego okresu przechowywania ziarna. Sondy były zamocowane w komorze w kilku pozycjach równoległe do osi symetrii. Wykresy obciążeń wyznaczono dla

sond o długości 26 m i 36 m, przy zmiennym zanurzeniu w ziarnie. Średnica zewnętrzna tych dwóch sond wynosiła 16 mm.



Rys. 41. Stanowisko do badań sond pomiarowych pracujących w warunkach rzeczywistych (wg badań autora)

Wykresy tego eksperymentu potwierdzają niską wartość sił statycznych, i przedstawione są na rys. 42.

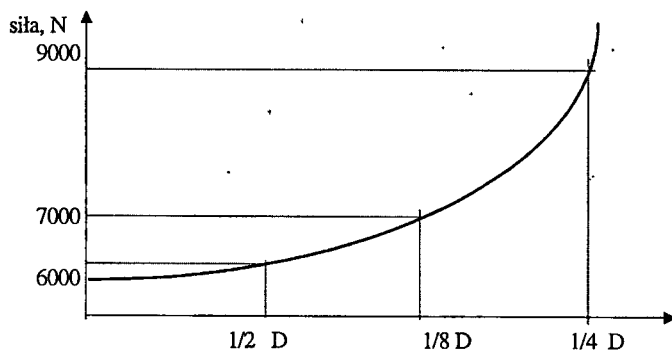


Rys. 42. Siły działające na sondy podczas napełniania i zsypu ziarna jęczmienia

• Badania sił działających na sondę w funkcji odległości od środka komory

Badania przeprowadzono na obiekcie rzeczywistym dla trzech zamocowań sondy w środku komory, tzn. w $1/2 D$, w odległości $1/4 D$ i $1/8 D$ (gdzie: D jest średnicą komory). Wykres sił obciążających jest przedstawiony na rys. 43. Siła wykładniczo wzrasta w funkcji odległości od osi symetrii zbiornika, osiągając wartości maksymalne w pobliżu jego ściany.

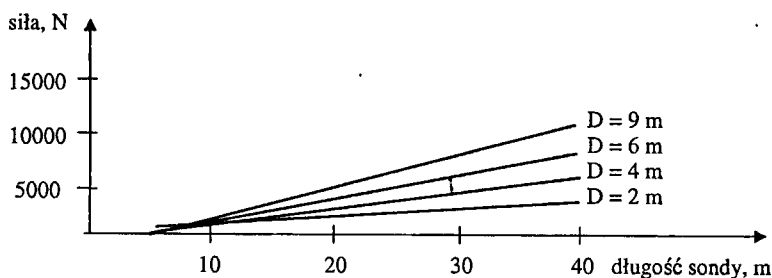
Informacja ta jest istotna przy projektowaniu punktów zawieszenia sond w komorze elewatora, powierzchni bocznej i przy ścianie.



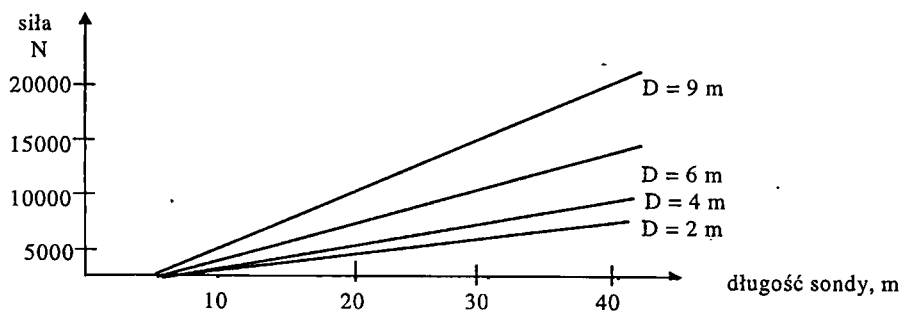
Rys. 43. Siły działającej na sondę w funkcji odległości od środka komory

- **Badania sił działających na sondę w zależności od średnicy komory lub silosu**

Badania prowadzono dla kilku średnic komór elewatora wykonanych z żelbetu oraz dla tych samych średnic silosów stalowych. Sondę zawieszono w osi symetrii zbiornika. Wyniki są przedstawione na rys. 44 i rys. 45 [154]. Wynika z nich, że sondy zawieszane w silosach stalowych są narażone na większe siły.



Rys. 44. Siły działające na sondę w funkcji długości sondy dla różnych średnic D komory



Rys. 45. Siły działające na sondę w funkcji długości sondy dla różnych średnic D silosów stalowych

Badania wytrzymałości sond elastycznych (zrywające) przeprowadzono w Laboratorium Centralnego Ośrodka B-R Przemysłu Kablowego oraz w Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa (wg koncepcji autora). Badania wykonywano na zrywarkach. Do badań pobierano pancierz sondy o długości 3 m. Wyniki były pozytywne. Sonden wytrzymały siłę 80 kN.

• **Analityczne określenie sił działających na sondy i badania porównawcze**

Zakładamy quasi-statyczne obciążenie sondy siłą tarcia ziarna. Przy założeniu zawieszenia sondy w osi symetrii zbiornika-komory elewatora, ziarno zbóż o współczynniku tarcia μ działa na sondę wzdłuż osi wzdłużnej zbiornika y . Na sondę działa ciśnienie ziarna p .

F - siła wzdłużna działająca na sondę:

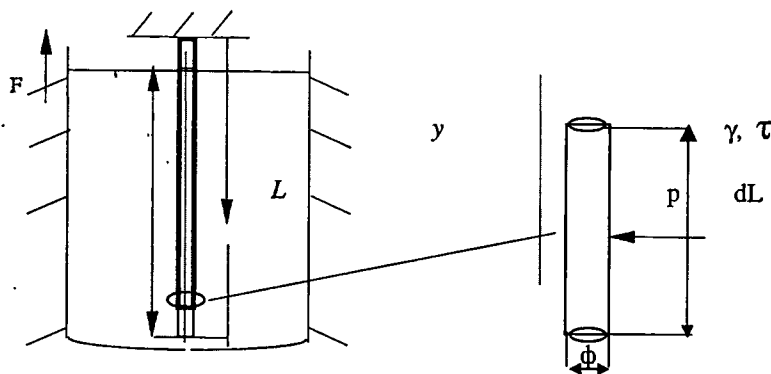
$$\tau = \mu p$$

$$p(y) = \gamma y$$

$$L_{max}$$

$$F = \int_0^{L_{max}} \pi d \mu \gamma y dy = \frac{1}{2} \pi d \mu \gamma L^2 \quad (3)$$

W ostatnich 5 latach pojawiło się kilka publikacji amerykańskich zespołu pod kierunkiem I. J. Rossa [104, 105], określających wartość obciążenia działającego na sondy oraz badań krajowych określających rozkład obciążeń mechanicznych działających na ściany w zbiorniku z ziarnem [83, 117]. W pracach I.J. Rossa określono przybliżone równanie, precyzujące siłę oddziaływania ziarna na zanurzoną w nim sondę pomiarową. Równanie to określa siłę działającą na sondę pomiarową, spowodowaną tarciem ziarna zbóż wzdłuż długości zawieszanej sondy. Siłę F , precyzuje się jako obciążenie „load” L (ang.) sondy.



Rys. 46. Oddziaływanie ziarna na sondę zawieszoną w komorze:

p – ciśnienie ziarna, μ – współczynnik tarcia, τ – naprężenie styczne, γ – ciężar właściwy ziarna, ϕ – średnica sondy (wg badań autora)

Oblicza się ją ze wzoru:

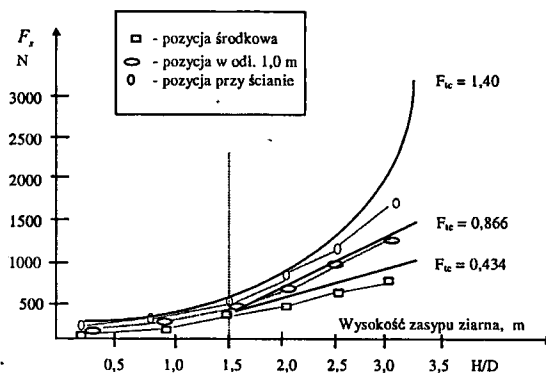
$$F_s = F_{tc} \frac{\pi \mu_{tc} D_{tc} R_h \gamma}{\mu} \left\{ y + \frac{R_h}{\mu k} [\exp(-\frac{k \mu y}{R_h}) - 1] \right\} \quad (4)$$

gdzie:

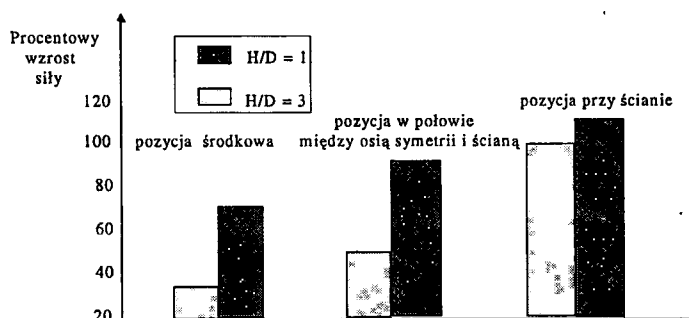
- F_s siła wzdłużna działająca na sondę [N],
- F_{tc} współczynnik proporcjonalności,
- μ współczynnik tarcia ziarna o ściany zbiornika stalowego,
- μ_{tc} przybliżony współczynnik tarcia ziarna zboża o sondę,
- D_{tc} współczynnik odpowiadający średnicy ϕ sondy ($D_{tc} = \sqrt{4 \text{ pow. } I \pi}$),
- R_h promień hydrauliczny zbiornika (powierzchnia dzielona przez obwód),
- k stosunek ciśnienia przy bocznych ścianach do ciśnienia działającego pionowo,
- y głębokość zanurzenia sondy w pryzmie ziarna,
- g wysokość górnego poziomu ziarna w zbiorniku.

Przeprowadzono badania porównawcze tych samych wartości, obliczonych wcześniej wg zależności (4) oraz występujących w warunkach rzeczywistych. W tym celu zbudowano zbiornik w kształcie walca, średnicy podstawy równej 4,1 m i maksymalnej wysokości zasypu ziarna równej 14,3 m (wysokość zbiornika ok. 16 m). Sondy były zawieszone w trzech odległościach od środka podstawy, a mianowicie: 0,1 m (czyli w niewielkiej odległości od pozycji środkowej – w osi symetrii), w odległości 1,0 m (pozycja pośrednia) i 1,6 m – w pobliżu ściany bocznej zbiornika. Wyniki badań są przedstawione na rys. 90 wraz z krzywymi wykreślonymi na podstawie wzoru 4.

Dla tego doświadczalnego zbiornika przeprowadzono również badania sił dla różnych stopni napełnienia zbiornika, czyli dla różnych wysokości zasypu ziarna określonych przez H/D . Wykresy procentowego wzrostu siły obciążenia w funkcji położenia punktu zawieszenia sondy przedstawione są na rys. 47.



Rys. 47. Porównanie przebiegów obliczonych wg (4) dla różnych współczynników F oraz przebiegów wyznaczonych doświadczalnie wg I. Rossa [104].
Dla pozycji przy ścianie $F = 1,4$, dla pozycji środkowej $F = 0,434$



Rys. 48. Porównanie procentowego wzrostu siły obciążenia działającego na sondę pomiarową dla dwóch różnych wysokości zasypu ziarna wg I. Rossa [105]

Zależność (4) określa przybliżoną siłę obciążenia, wywołaną tarciem ziarna o sondę pomiarową. Ziarno to jest wysuszone w stacjonarnych, ustalonych warunkach przechowywania.

W ziarnie wilgotnym wzrasta jego siła tarcia na sondę i dlatego dla warunków polskich autor zaproponował modyfikację zależności (4) Rossa i wprowadzenie drugiego współczynnika proporcjonalności uzależnionego od wilgotności ziarna F_w :

$$F_s = F_{tc} \frac{\pi \mu_{tc} D_{tc} R_h \gamma}{\mu} \left\{ y + \frac{R_h}{\mu k} [\exp(-\frac{k \mu y}{R_h}) - 1] \right\} F_w \quad (\text{wg badań autora}) \quad (5)$$

gdzie:

F_w - współczynnik proporcjonalności zależny od wilgotności ziarna:
do 10 % $F_w = 1$, do 20 % $F_w = 2$ i do 30 % $F_w = 3$

Wyznaczanie współczynnika F_w przeprowadzono w zbiorniku doświadczalnym, w którym zawieszono w ziarnie próbkę sondy o średnicy 17 mm i długości 1 m. Na dynamometrze mierzono siłę początkową podczas wyciągania próbki z ziarna o różnej wilgotności i na tej podstawie zaproponowano wartość współczynnika proporcjonalności F_w w (5).

• Badania sił dynamicznych

Badania sił dynamicznych, działających na sondę prowadzono przez blisko 5 lat w komorze elewatora o pojemności 240 t. Zależą one od wielu czynników: średnicy sondy i jej długości, miejsca zamontowania sondy, materiału powlekającego pancerz sondy, kształtu pancerza sondy itp. Nie udało się wyznaczyć sił dynamicznych spowodowanych zblokowaniem zasypu lub zsypu ziarna. Dlatego ograniczono się do badania przyczyn uszkodzenia pancerza sond o wytrzymałości 30 kN.

Zrywanie pancerza występowało w sondach zawieszonych w pozycji pośredniej i z bocznym zasypem. W sondach zawieszonych w pozycji środkowej komory w czasie blisko 15-letniej eksploatacji nie zauważono żadnej nieprawidłowości. Początkowo zakładano, że obciążenie dynamiczne jest 5-krotnie większe od obciążenia statycznego (6 kN). Ponieważ uszkodzenia występowały nadal, przeprowadzono badania w kilku krajach. Chcąc sprostać nowym wymaganiom konstruktorów komór i silosów, zdecydowano się na podwyższenie

wytrzymałości sond do 80 kN, podobnie jak to zrobiło kilka firm światowych [154]. Rozważania te dotyczą sond o średnicy $\phi = 16$ (17) mm. W przypadku opracowania sond o mniejszych średnicach (przy tej samej liczbie czujników temperatury), siły zgodnie z wzorem (5) mogą być znacznie mniejsze przy tym samym zapasie bezpieczeństwa, tzn. wielokrotności wzrostu obciążeń dynamicznych w stosunku do obciążeń statycznych.

Wnioski

- * Elastyczne sondy temperatury, zawieszone w silosach i komorach elewatora, są przedmiotem oddziaływań sił tarcia ziarna o powierzchnię zewnętrzną pancerza sond i wzdłuż ich średnic. Siły te powstają podczas zasypywania ziarna, podczas jego normalnego cyklu składowania oraz podczas operacji rozładunku. Sytuacja staje się szczególnie groźna wówczas, gdy ziarno zawiesza się w komorze i nagle kilkaset ton samoistnie, lub wskutek operacji przepychającej spada w dół komory. Mamy więc do czynienia z siłami statycznymi podczas normalnego składowania i dynamicznymi spowodowanymi awarią załadunku i rozładunku oraz siłami występującymi podczas prac przeładunkowych. Siły statyczne można stosunkowo łatwo wyznaczyć. Wyznaczenie sił dynamicznych wymaga specjalistycznego oprzyrządowania i badań w czasie, w którym zjawisko występuje. Zgodnie z dotychczasowymi przepisami projektowania wytrzymałości sond zakładano, że siły dynamiczne mogą wynosić 5-krotną wartość sił statycznych, np. dla sond o obciążeniu statycznym 6 kN wartość siły dynamicznej nie powinna przekroczyć 30 kN. Takie wymagania zostały podane w międzynarodowych normach [120]. Z analizy uszkodzeń przeprowadzonej przez autora w latach 1985-93 w elewatorach krajowych wynikało, że wytrzymałość sond w wielu przypadkach jest za niska (stwierdzono w kilku sondach pęknięcia pancerza). Powinna ona wynosić co najmniej 50 kN, co znalazło potwierdzenie w nowej normie przewidującej zastosowanie sond właśnie o tej wytrzymałości.
- * Z wzoru (3) i (4) wynika, że siła działająca na zawieszoną sondę pomiarową zależy proporcjonalnie od jej średnicy i do wartości kwadratowej jej długości zanurzonej w ziarnie. W równaniu (4) kwadrat długości sondy wynika z pomnożenia wysokości górnego poziomu ziarna w zbiorniku przez głębokość zanurzenia sondy w ziarnie y . Dla większej średnicy sondy siła jest większa. Ponieważ standardem jest obecnie średnica zewnętrzna $\phi = 17$ mm, dla sond HD przyjęto więc, na podstawie analizy parametrów innych firm, wytrzymałość jej na poziomie 80 kN. Dla takiego obciążenia buduje się stropy w elewatorach do których zawiesza sondy. Jeśli zmniejszymy średnicę sondy do 10 mm, to siła działająca na nią będzie mniejsza o ok. 1/3. W konsekwencji zmniejsza się obciążenie stropu. Problemem jest tylko wykonanie elastycznej sondy wieloczujnikowej o średnicy nie większej od 10 mm. Tradycyjne konstrukcje sondy z czujnikami rezystancyjnymi i z pancierzem stalowym konstrukcyjnie wydają się wyczerpane, ponieważ nie dysponujemy już oplotem stalowym o większej wytrzymałości drutu, który ma decydujący wpływ na jej średnicę. Zastosowanie podwójnego drutu stalowego „fortepianowego”, o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej, umożliwiło wykonanie sond o wytrzymałości porównywalnej do sond wiodących firm, które uznawane są jako wzorce.
- * Prowadzone badania w PIAP nad konstrukcją czujników optoelektronicznych pozwoliły na zabudowanie ich w znacznie mniejszym pancierze niż stosowane dotychczas. Średnica tej sondy wynosi obecnie 10 mm. Prace są już zakończone na etapie opracowania modeli sond optoelektronicznych ze światłowodami.
- * Sondy z czujnikami optoelektronicznymi średnicy 10 mm i wytrzymałości 50 kN będzie można również stosować w elewatorach, w których dotychczas nie można było montować

sond o średnicy 17 mm i wytrzymałości 80 kN, ponieważ stropy nie nadawały się do przebudowy wzmacniającej. Takich elewatorów jest w skali kraju kilkanaście. Powiększa się, tym samym, obszar zastosowania systemu monitorowania. W pozostałych elewatorach, w których będą montowane te sondy, obniżone również będą koszty adaptacji stropów pod sondy o mniejszej wytrzymałości. Wniosek ten jest na tyle istotny, ponieważ obecnie koszty zabudowy systemu monitorowania na obiekcie są wyższe od kosztów samej aparatury pomiarowej.

- * Znana jest również metoda oszczędnościowa polegająca na zabudowie sond o mniejszej wytrzymałości mechanicznej niż obciążenia dynamiczne, które mogą zniszczyć strop. Nie ma potrzeby wzmacnianie stropu, ponieważ zerwie się najpierw sonda i nie wystąpi zagrożenie uszkodzenia stropu. Ponieważ zagrożenie obciążeniami dynamicznymi nie często występuje więc świadomie poświęca się utratę sondy ponieważ jej koszt jest znacznie mniejszy niż wzmocnienia stropu. Warunkiem jest zastosowanie sondy z bezpiecznikiem mechanicznym oddzielającym głowicę sondy od pancerza. Następuje to po przekroczeniu obciążenia jednostkowego dopuszczonego dla konkretnego stropu. Ta metoda, reklamowana przez firmy instalujące systemy monitorowania we Francji, nie była jeszcze stosowana w systemach montowanych w Polsce.

7.2 Wzorcowanie sond i czujników temperatury

Czujniki temperatury, po zamontowaniu w rdzeń sondy, są wzorcowane. Następnie rdzeń jest wsuwany w pancerz sondy zawieszony w komorze elewatora. Warunki techniczne pracy systemów monitorowania wymagają okresowej kontroli dokładności sond i jej czujników. Jest to możliwe dzięki wyjmowanemu rdzeniowi sondy. Znane metody kontroli pojedynczych czujników w komorze termostatycznej powinny być zweryfikowane ze względu na badania długiego rdzenia z zamontowanymi czujnikami przy zadanych wartościach temperaturowych.

Opracowano własną metodę badań temperaturowych stosowanych do wzorcowania sond. Polega ona na wykorzystaniu do badań komory termostatycznej. Do pierwszych badań wykorzystano unikatową komorę termicznych uderów. Komora ta jest stosowana do badań środowiskowych w laboratorium akredytowanym PIAP-LAB. Dotychczasowe badania w komorze były prowadzone dla typowego sprzętu pomiarowego, automatyki i robotyki. Komora zapewnia wysoką stabilność temperatury w całej jej przestrzeni. Rdzeń sondy z czujnikami jest zupełnie nowym przedmiotem badań ze względu na obszar, jaki wypełnia w komorze. Z tego powodu, przydatność komory do wzorcowania sondy, wymaga sprawdzenia rozkładu temperatury wewnątrz komory.

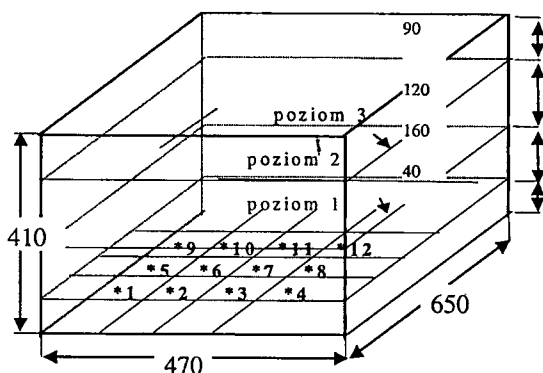
Badania rozkładu temperatury przeprowadzono metodą porównawczą [65, 102], z zastosowaniem miernika podczerwieni i multimetru z czujnikiem platynowym. Temperaturę wyznaczano na podstawie rezystancji czujników zmierzonej na mierniku typu 196DD (rok produkcji 1993) firmy Keithley (USA), ze Świadectwem Uwierzytelnienia GUM nr M42-35/99. Komorę podzielono na trzy poziomy (płaszczyzny) zgodnie z rys. 49. Na każdym poziomie, na przecięciu siatki prostokątnej, oznaczono dwanaście punktów i w każdym punkcie dokonano pomiaru temperatury co najmniej kilkanaście razy. Badania przeprowadzono metodą A z wykorzystaniem miernika klasycznego oraz metodą B z miernikiem bezdotykowym pracującym w paśmie podczerwieni (tabl. 10). Tak uzyskane wyniki pozwoliły określić wartość średnią temperatury w mierzonym punkcie z jej wariancją, odchyleniem średniej kwadratowej średniej arytmetycznej nazwanej dalej *błędem standardowym* [121, 132+135, 147]. Określono również *rozstęp* rozumiany jako różnica między wartościami maksymalnym i minimalnym danej serii pomiarów.

Tablica 10. Wyniki z porównania dwóch metod pomiaru dla wybranych 3 punktów pomiarowych (wg badań autora)

Punkty pomiaru	Metoda pomiaru A , °C			Metoda pomiaru B, °C		
	Wart. *	Błąd	Rozstęp	Wart.	Błąd	Rozstęp
1	18,68	4,93E-3	0,15	18,67	6,04E-3	0,3
2	18,78	4,99E-3	0,09	18,72	0,01	0,3
3	18,85	5,21E-3	0,12	19,12	0,01	0,3

* liczby w tej kolumnie określają przykładowe wartości temperatury, liczba próbek wynosiła 36, dla innych wartości temperatury tabele podane są w sprawozdaniu PIAP oraz w publikacjach [77, 101,102]

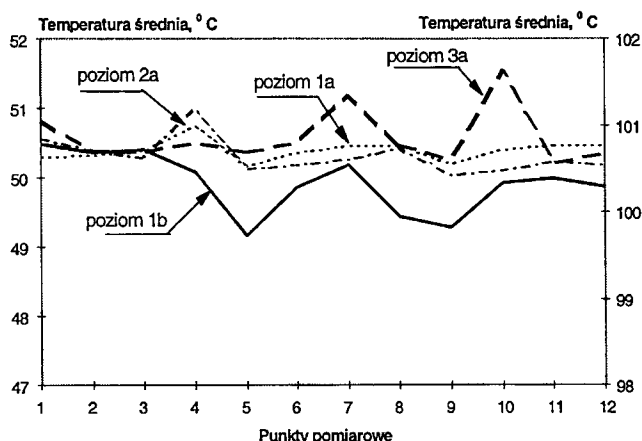
Dodatkowo w wybranych punktach określono charakter rozkładu wyników, wykorzystując siatkę laplaso-regularną oraz przeprowadzono sprawdzenie zgodności rozkładu empirycznego z założonym rozkładem normalnym na podstawie testów χ^2 Pearsona dla kilku punktów pomiarowych [135]. Do badań porównawczych wykorzystano miernik do pomiarów bezdotykowych z detektorem podczerwieni - typ Rayrpm 30L2TRG - Raytek /USA/ ze Skróconym Raportem nr 317/2000/SCT PIAP-LAB. Miernik ten ma celownik laserowy umożliwiający lokalizację punktów pomiarowych. W punktach 1-12 (rys. 49) ustawiono miniaturowe płytki z poczernionego aluminium, na które kierowano strumień laserowy.



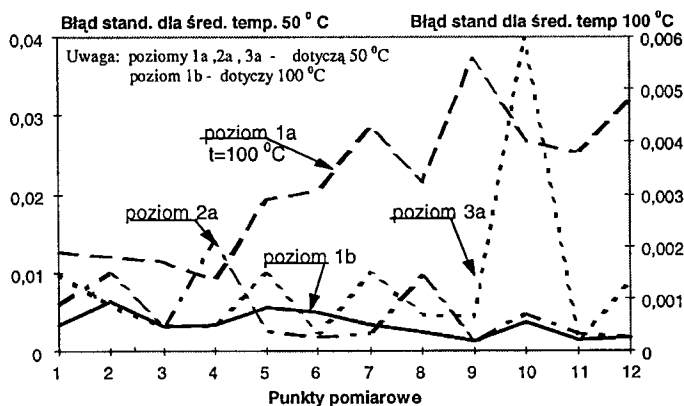
Rys. 49. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w termicznej komorze dla poziomu 1 [65]

Ważniejsze parametry komory:

- wymiary przestrzeni probierczej 470 x 410 x 650 mm
- zakres temperatur „gorąca”: +50 °C do 220 °C
- zakres temperatur „zimna”: -80 °C do +70 °C
- stabilność zmian temperatury w czasie (statyczna): 1 °C
- specjalna stabilność temperaturowa w koszu ruchomym: 2 °C
- szybkość narastania temperatur: 11 °C/min
- szybkość chłodzenia w zakresie +70 °C ÷ -75 °C : 3 °C/min
- szybkość grzania w zakresie -80 °C ÷ +65 °C : 2 °C/min



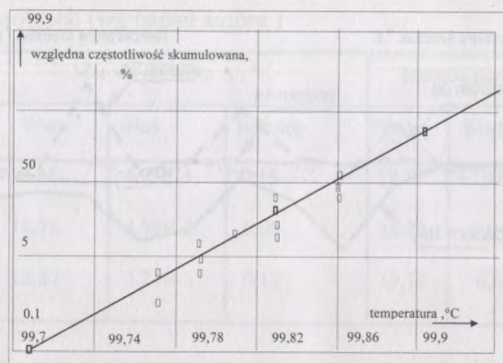
Rys. 50. Zmiany wartości średniej temperatury dla różnych poziomów w komorze przy ustalonych punktach pomiarowych. Wykresy 1a, 2a, 3a zmieniają się w przedziale temperatur 50-52 °C – lewa oś temperatury, dla poziomu 1b – od 99 do 101 °C – prawa oś temperatury [65]



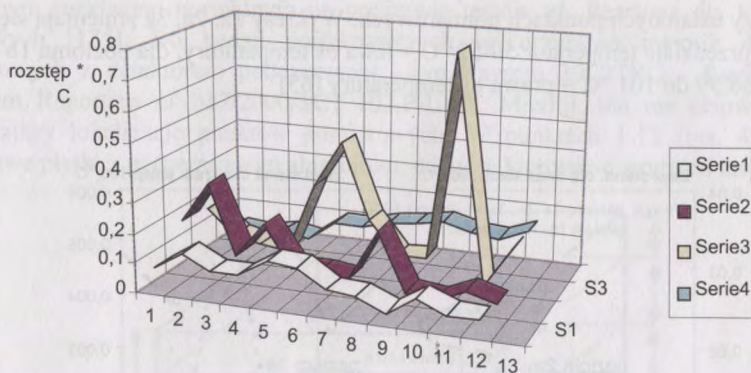
Rys. 51. Zmiany wartości błędu standardowego temperatury średniej dla różnych poziomów w komorze przy ustalonych punktach pomiarowych [65]

Podsumowanie i wnioski

- * Obserwacja zmian temperatury na różnych poziomach w komorze wykazuje wzrost tych zmian od poziomów 1 do 3. Podobne uwagi nasuwają się przy obserwacji zmian błędu. Zmiany błędu w temperaturze 50 °C mieszczą się w przedziale (0÷0,05) °C natomiast dla temperatury 100°C zmiany występują w przedziale (0÷0,008) °C.
- * Zmiany rozstępu wyników podane na rys. 53 dotyczą różnych poziomów, temperatury i punktów pomiarowych. Dla poziomu 3a i $T = 50$ °C zmiany te są największe. Najmniejsze występują dla poziomu 1b i $T = 100$ °C. Wynika z tego, że nierównomierność temperatury komory spada wraz ze wzrostem temperatury w komorze i poziomem badanym.



Rys. 52. Sprawdzenie rozkładu normalnego dla jednego z punktów pomiarowych na siatce rozkładu normalnego [65]



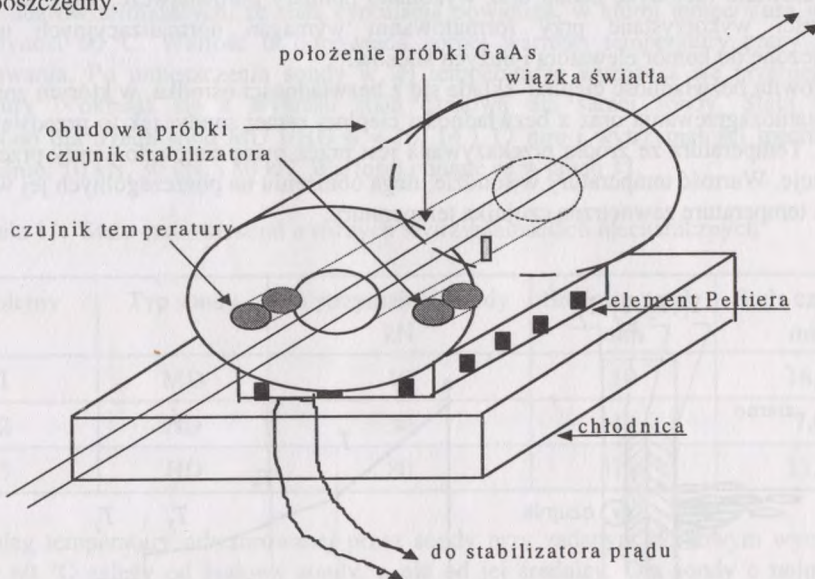
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
□ Serie1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	
■ Serie2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0	0	0,1	0	
▤ Serie3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,8	0	0,2	
▥ Serie4	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	

Rys. 53. Zmiany rozstępu wartości średniej temperatury dla $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ serii S1, S2, S3, S4 (dla czterech poziomów) oraz dla $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, wg badań autora

- * Z przeprowadzonych badań i ich wyników należy zalecić prowadzenie pomiarów rdzenia sond temperatury, objętych procedurą wzorcowania, na najniższym dostępnym poziomie w przestrzeni probierczej komory.
- * Pomiary temperatury w komorze za pomocą miernika z czujnikiem Pt 100 i wykonywane miernikiem bezdotykowym pracującym w paśmie podczerwieni wykazały wyższą przydatność miernika bezdotykowego. Ma on wprawdzie mniejszą dokładność, ale wysoką

powtarzalność i dzięki sterowaniu laserowemu można przestrzeń probierczą komory lepiej zbadać, docierając do każdego punktu w jej przestrzeni.

- * Sprawdzenie rozkładu normalnego metodą graficzną dla jednego z wybranych punktów pomiarowych przedstawiony jest na rys. 52. Wyniki kolejnych badań potwierdziły również kształt rozkładu normalnego. Ocena niepewności pomiarów wiąże się z określeniem wartości rozrzutu zmiennej losowej. Jeżeli znamy rozkład tej zmiennej, to można określić przedziały zmiany rozrzutu, a przy tym i niepewność. Przeprowadzono również badania wg testów χ^2 Pearsona, które potwierdziły przyjęte założenia,
- * Badania czujników temperatury w stałych warunkach temperaturowych w komorze termicznych udarów, podane w tabl. 11, wykazały wartość rozstępu równą $0,3^\circ\text{C}$ dla badań wg metody pomiaru B. Wartość błędu odchylenia średniego wynosi $0,01$ i jest pomijalna w porównaniu z dokładnością sondy $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Procedury badań sond są pódane w normach przedmiotowych na systemy monitorowania z sondami elastycznymi.
- * Wyznaczanie charakterystyki temperaturowej w zakresie od -10°C do 60°C przeprowadzono w precyzyjnym termostacie opartym na grzejniku wykonanym z elementu Peltiera, rys. 54. Termostat ten wykonano specjalnie do badań czujników optoelektronicznych w PIAP. Okazał się również przydatny do badań innego rodzaju czujników temperatury. W stosunku do termostatów z grzejnikami oporowymi znacznie szybciej osiąga temperaturę zadaną i z większą dokładnością ją utrzymuje, jest przy tym bardziej energooszczędny.



Rys. 54. Stanowisko termostaticzne z elementem Peltiera do badań czujników temperatury (wg koncepcji autora)

Wniosek

- * Stanowisko termostaticzne z elementem grzejno-chłodzącym Peltiera może zastąpić dotychczasowe termostaty, ze względu na jego lepsze parametry i energooszczędność, do wzorcowania różnego typu miniaturowych czujników przeznaczonych do sond pomiarowych.

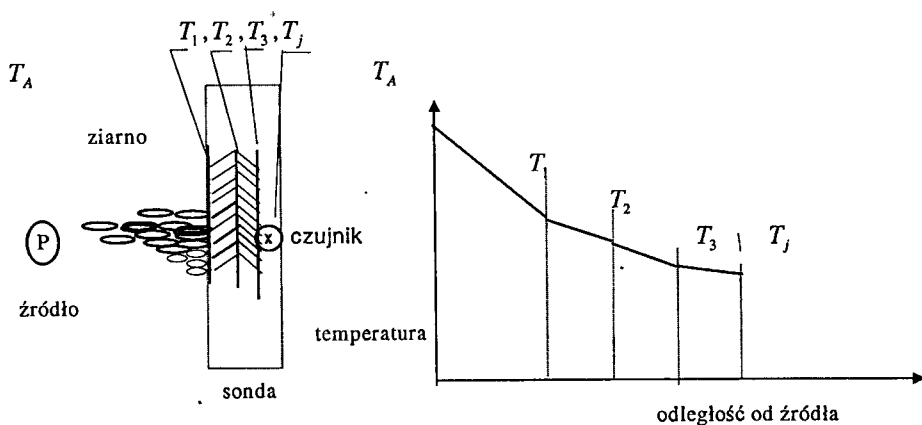
7.3 Badania bezwładności cieplnej sond

Pomiar za pomocą sond temperatury obarczony jest błędem wynikającym z bezwładności cieplnej sond. Międzynarodowy słownik terminów metrologii [147] precyzuje „*czas odpowiedzi*” jako przedział czasu zawarty między chwilą, w której sygnał wejściowy podlega nagłej, określonej zmianie i zachowuje ustaloną wartość końcową zawartą w określonych granicach.

Czas ten charakteryzuje bezwładność czujnika, aparatury itp., a w odniesieniu do sond pomiarowych temperatury można go określić jako przedział czasu, w której sygnał wyjściowy osiąga i zachowuje ustaloną wartość końcową zawartą od włożenia sondy do ziarna do czasu uzyskania ustalonych wartości temperatury. Wymagana w normie [119] wartość tego czasu równa 1 min jest bardzo krótka i mimo braku sprecyzowania rodzaju sond może dotyczyć sond laskowych stosowanych w magazynach płaskich. W dużych elewatorach, w których stosowane są sondy elastyczne *czas odpowiedzi* jest znacznie dłuższy. W katalogach sond nie podaje się żadnych informacji na ten temat. Prawdopodobnie projektanci systemów monitorowania założyli, że bezwładność cieplna samej sondy jest pomijalnie mała w porównaniu z bezwładnością cieplną całego obiektu.

Można się z tą tezą zgodzić. Podczas prac nad konstrukcją nowych sond oraz w badaniach porównawczych różnych sond będzie to jednak parametr bardzo istotny. Dlatego zaproponowano metodykę badań oraz wykonano pomiary porównawcze, które mogą być w przyszłości wykorzystane przy formułowaniu wymagań normalizacyjnych na sondy przeznaczone do komór elewatora i dużych silosów.

Całkowita bezwładność cieplna składa się z bezwładności ośrodka, w którym znajduje się źródło samozagrzewania oraz z bezwładności cieplnej samej sondy, jak to przedstawiono na rys. 55. Temperatura ze źródła przekazywana jest przez masę ziarna do sondy przez dotyk i konwekcję. Wartość temperatury w sondzie ulega obniżeniu na poszczególnych jej warstwach i osiąga temperaturę zewnętrzną czujnika temperatury.



Rys. 55. Przebieg temperatury w stanach nieustalonych od źródła do czujnika sondy zmieniającej się w kilku otaczających warstwach czujnik (wg badań autora)

Spadek temperatury między źródłem i czujnikiem sondy można wyrazić:

$$T_A - T_j = P(Q_{T_1} - Q_{T_2} - Q_{T_3} - Q_{T_j}) \quad (6)$$

$$dQ = \alpha A(T_A - T_j) d\tau$$

z drugiej strony:

$$dQ = mc dt_{cz} \quad (7)$$

Rozwiązując, otrzymujemy:

$$t(\tau) = t(1 - e^{-\tau/\theta_*}) \quad (8)$$

Równanie to, z dużym uproszczeniem, można wykorzystywać do badań sondy złożonej z kilku warstw jak to przedstawiono na rys. 55.

Stałą czasową sond pomiarowych wyznaczono w sposób następujący: próbkę sondy z czujnikiem temperatury o długości 50 cm i temperaturze początkowej 0 °C umieszczono w komorze udarów termicznych, ze stałą cyrkulacją powietrza, w której temperatura jest stała [62] i wynosi 60 °C. Wartość ta odpowiada górnej wartości temperatury pracy systemu monitorowania. Po umieszczeniu sondy w tej temperaturze wyznacza się przebieg zmian temperatury i określa się z wykresu stałą czasową dla samej sondy. Stałą czasową wyznaczono dla trzech sond MD i HD $\phi = 10, 14$ i 17 mm i wytrzymałości mechanicznej odpowiednio: 10 kN, 30 kN, i 80 kN. Wartości podane są w tabeli 11.

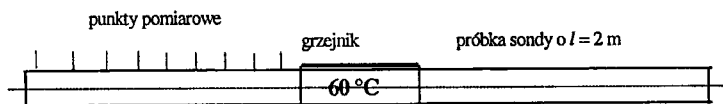
Tabela 11. Stałe czasowe sond o różnych wytrzymałościach mechanicznych

Nr kolejny	Typ sondy	Wytrzymałość sondy kN	Średnica sondy mm	Stała czasowa min
1	MD	10	10	18,0
2	HD	30	14	7,0
3	HD	80	15	11,0

Przebieg temperatury odwzorowanej przez sondy przy zadanym skokowym wymuszeniu równym 60 °C zależy od budowy sondy, a nie od jej średnicy. Dla sondy o najmniejszej średnicy równej 10 mm stała czasowa τ jest największa i wynosi 18 min, a dla sondy prawie dwukrotnie grubszej, średnicy 17 mm, wynosi tylko 11 min. Sonda ta ma pancierz z oplotem z dwóch warstw drutów stalowych, który dobrze przewodzi ciepło do jej rdzenia z czujnikami. Sonda o najmniejszej średnicy pancierza stalowego ma płaszcz z polietylenu źle przewodzący ciepło i dlatego dla niej stała czasowa jest najdłuższa.

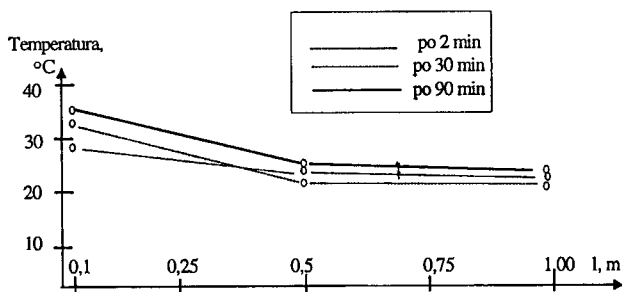
Z rys. 10 wynika, że podczas samozagrzewania wzrost temperatury w ziarnie o 60 °C następuje w okresie większym niż osiem dób, a więc czas ustalenia pomiaru równy 4τ (dla sondy średnicy 10 mm), wynoszący 1 godz. 12 min, nie powinien mieć negatywnego znaczenia, ponieważ system pomiarowy będzie wykrywał już zmiany o wartości 0,5 °C.

Na bezwładność cieplną sond pomiarowych ma również wpływ przewodność cieplna wzdłuż długości pancerza (płaszcz) sondy przy założeniu quasi-punktowego źródła ciepła. Przyjęto, że odcinek sondy znajdzie się w źródle samozagrzewania. Wpływ ten badano umieszczając środek próbki sondy w grzejniku cylindrycznym długości 10 cm, a następnie miernikiem promieniowania podczerwonego wyznaczono rozkład temperatury wzdłuż długości sondy, rys. 56.

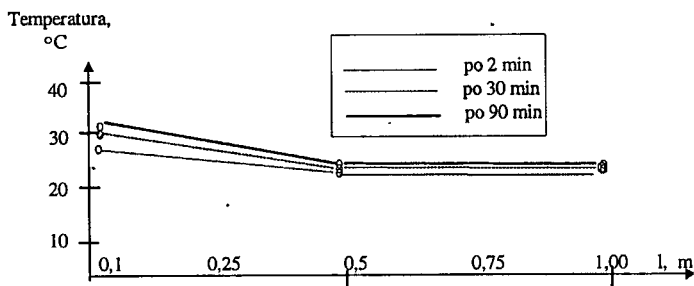


Rys. 56. Wyznaczanie wzrostu temperatury wzdłuż długości próbki sondy, wywołanego działaniem grzejnika cylindrycznego długości 10 cm (wg badań autora)

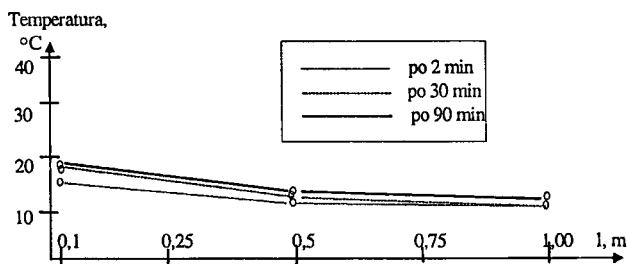
Przebiegi temperaturowe wzdłuż długości sond pomiarowych przedstawione są na rys. 57, 58, 59. Sonda o najmniejszej średnicy 10 mm (bez pancerza stalowego) odwzorowuje dobrze temperaturę bezpośrednio w źródle grzania, po czym następuje znaczny spadek temperatury, i w odległości równej ok. 10ϕ , co jest równe 10 cm, nie występuje już wyraźne oddziaływanie podwyższonej temperatury. Inaczej jest w sondach o pancerzu z opłotem stalowym. Maksymalna temperatura źródła jest odwzorowana również z dużą dokładnością, ale oddziaływanie zewnętrznej, podwyższonej temperatury wzdłuż długości jest większe i może dochodzić nawet do odległości równej 40 średnicom ($40 \times \phi$).



Rys. 57. Przyrost temperatury dla sondy $\phi = 17 \text{ mm}$ i $l/2 = 1 \text{ m}$, $t_o = 20^\circ$ (wg badań autora)



Rys. 58. Przyrost temperatury dla sondy $\phi = 14 \text{ mm}$ i $l/2 = 1 \text{ m}$, $t_o = 20^\circ$ (wg badań autora)



Rys. 59. Przyrost temperatury dla sondy o $\phi = 10$ mm i $1/2 l = 1$ m, $t_o = 20$
(wg badań autora)

Wnioski

- * Odzworowanie rzeczywistej temperatury przez sondy pomiarowe w ośrodku ziarnistym następuje z opóźnieniem czasowym związanym z niskim przewodnictwem cieplnym samego ośrodka, z inercji sondy (co wynika z jej wielowarstwowej budowy) i z bezwładności cieplnej czujnika temperatury.
- * Wartość temperatury wskazana przez sondę, która jest umieszczona w źródle warstwowym, jest niższa od temperatury rzeczywistej. Wynika to z budowy pancerza sondy, a szczególnie uśredniającego działania opłotu z drutów stalowych,
- * Stała czasowa badanych sond, o niedużych różnicach w ich średnicach (od 10 mm do 17 mm), zależy od budowy sondy, a nie od wielkości ich średnic. Dla sondy o najmniejszej średnicy, bez pancerza stalowego, stała czasowa była najdłuższa (18 min), a dla sondy grubszej (z pancerzem) stała czasowa była niższa (7 min).
- * Większość wykresów wykonano na podstawie przebiegów z rejestratorów, których format przekraczał możliwości wydawnicze i celowość ich wiernego odzworowania. Dlatego mogą wystąpić drobne usterki wartości pomiarowych, które jednak nie zmieniają istoty występujących zjawisk.

7.4 Wpływ oddziaływań sond na środowisko

Badania prowadzone były w specjalistycznym laboratorium. Miały na celu ocenę toksykologiczną elastycznej sondy iskrobezpiecznej o średnicy $\phi = 17$ mm i wytrzymałości mechanicznej 30 kN i 90 kN w zakresie kontaktu z produktami spożywczymi: ziarnistymi i granularnymi. W skład produktu spożywczego, jakim jest ziarno zbóż, wchodzi węglowodany, skrobia, błonnik, oleje roślinne i woski.

Wykonano dwa rodzaje badań:

- Oznaczono przekazywanie zapachu i smaku przez warstwy powietrza otaczającego sondę.
- Oznaczono migrację do powietrza z sondy lotnych substancji chemicznych.

Badanie przekazywania zapachu i smaku wykonano wg procedury i metody sensorycznej objętej odpowiednią PN. Umieszczono kilkumetrową próbkę sondy w komorze szklanej. Stwierdzono, że zapach jest bardzo słabo wyczuwalny.

W drugim badaniu przeprowadzono analizę próbek powietrza z komory laboratoryjnej. Wykonano ją metodą chromatografii gazowej z detektorami FID oraz ECD. Oznaczalność metody dla węglowodorów alifatycznych wynosiła $0,002 \text{ mg/m}^3$ dla węglowodorów aromatycznych - $0,001 \text{ mg/m}^3$ oraz dla chlorowców pochodnych węglowodorów - $0,0005 \text{ mg/m}^3$.

Tabela 12. Ważniejsze badania KEM

Lp.	Nazwa badania
1.	Sprawdzenie odporności na wyładowanie elektrostatyczne ESP
2.	Sprawdzenie odporności na zakłócenia polami elektromagnetycznymi wypromieniowanymi
3.	Sprawdzenie odporności na serie szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych
4.	Sprawdzenie poziomu emisji zakłóceń radioelektronicznych promieniowanych
5.	Sprawdzenie poziomu emisji zakłóceń radiowych prowadzonych w obwodzie zasilania i interfejsowym
6.	Sprawdzenie odporności na obniżenie napięcia zasilania
7.	Sprawdzenie odporności na zawartość trzeciej harmonicznej
8.	Sprawdzenie odporności na serię zmian napięcia zasilania
9.	Sprawdzenie odporności na zakłócenia impulsowe dużej energii (przebiegi w zasilaniu)
10.	Sprawdzenie odporności przy niewłaściwym dołączaniu zasilania

Stwierdzono, że badana sonda nie wydziela substancji zapachowych oraz lotnych substancji szkodliwych dla zdrowia. Polietylen oraz grafit, które są komponentami płaszcza (pancerza) sondy, nie stanowią zagrożenia dla otaczającego sondy produktu spożywczego, jakim jest zboże. Komponenty te są odporne na działanie olejów roślinnych, a ponadto woski zawarte w zbożu tzw. kutyna powodują impregnację zewnętrznej warstwy płaszcza sondy.

7.5 Badania atestacyjne wykonane w ZD GIG Kopalnia Barbara

Badania dotyczące bezpieczeństwa przeciwybuchowego prowadzone były dla potwierdzenia iskrobezpieczeństwa elastycznej sondy i wydania Orzeczenia Atestacyjnego. Badania prowadzone były w specjalistycznym laboratorium ZD Kopalni Barbara zgodnie z wymaganiami PN i EN wyszczególnionymi w odpowiednich procedurach badawczych jednostki certyfikującej (notyfikowanej).

- Wykonano badania zgodnie z następującymi procedurami:
- Pomiar oporu powierzchniowego i skrośnego obudów lub ich części wykonanych z tworzyw sztucznych,
- Badanie zdolności zapłonowej wyładowań elektrostatycznych z powierzchni obudów z tworzyw sztucznych, tkanin lub odzieży.

Przedmiotem badań była próbka pancerza sondy z głowicą i końcówką dolną.

- Opór powierzchniowy pancerza sondy wynosił: $8,5 \times 10^{12} \Omega$, i jest zgodny z założoną opornością powierzchniową $R_s - \geq 1 \times 10^6 \Omega$
- Oporność skrośna $R_v - \leq 1 \times 10^9 \Omega$ jest zgodna z założeniami,
- Rezystancja upływu do drutu stalowego (między zewnętrzną warstwą pancerza a warstwą drutów stalowych) wynosiła: $2,5 \times 10^{12} \Omega$

Metodyka badań jest opisana w odpowiednich normach [142, 143].

Badania zdolności zapłonowej iskrowych wyładowań elektrostatycznych wykonano dla strefy zagrożenia Z10 i ZII i grupy wybuchowości II przy wilgotności względnej w pomieszczeniu wynoszącej 54 %. Zastosowano próbiez gazowy mieszaniny wybuchowej $H_2 - 50 \% +$ powietrze 50 %. Elektroda zbierającą była elektroda sferyczna 1-punktowa komórki przenośnej. Elektryzacja sondy wykonywana była poprzez pocieranie jej tkaniną drelichową.

Potencjał ładunku elektrycznego V_p (kV) dla kilku próbek wynosił:

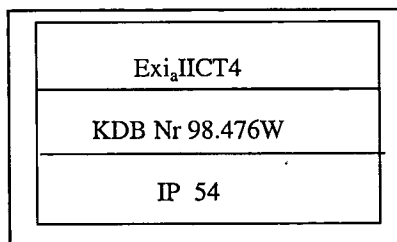
$$V_{pmax} = 0,880 \text{ kV i}$$

$$V_{p\text{śr}} = 0,801 \text{ kV.}$$

Na podstawie tych wyników badań otrzymano Orzeczenie Atestacyjne sond na okres 5 lat. Stwierdzono w nim, że sonda jest elementem biernym. Iskrobezpieczeństwo jej uzyskuje się przez współpracę z iskrobezpiecznymi obwodami zasilająco-pomiarowymi współpracujących z nią bloków (mupleksera). Bloki te również powinny posiadać odpowiednie atesty bezpieczeństwa przeciwybuchowego (iskrobezpieczeństwa).

Sondę EST-11 opracowaną w PIAP wykonano w technice iskrobezpiecznej. Może ona współpracować z komputerowym systemem monitorowania.

Zarówno głowica, jak i końcówka sondy mają stopień szczelności obudowy IP54. Obwód zewnętrzny sondy wraz z nadajnikiem został akceptowany przez Zakład Doświadczalny Głównego Instytutu Górniczego – KDB, który jest jednostką notyfikowaną również w zakresie pyłów zbożowych. Sonda EST-11 uzyskała atest w KDB [146] oraz może być oznaczona:



7.6 Weryfikacja eksperymentalna

- * Przedstawiono 4 rodzaje badań sond temperatury: badań mechanicznych i bezwładności cieplnej wg koncepcji i uzgodnień autora oraz dwa badania obligatoryjne wykonane po raz pierwszy dla sond temperatury wg zaproponowanej metodyki.
- * Celowość przeprowadzenia badań porównawczych wytrzymałości mechanicznej sond wynikała z przeprowadzonych rozważań analitycznych i otrzymanych wyników badań eksperymentalnych oraz z badań eksploatacyjnych.
- * Z wyników badań wytrzymałości mechanicznej można ocenić przydatność sond do konkretnego obiektu i stanu przechowywanego ziarna.
- * Zaproponowana przez autora modyfikacja zależności analitycznej siły oddziaływującej na sondy w funkcji wilgotności ziarna daje lepsze przybliżenie do wartości rzeczywistej i może być wykorzystywana przy projektowaniu sond temperatury.
- * Badania inercji cieplnej sond elastycznych wykazały, że jest ona zależna w największym stopniu od budowy sondy, a nie tylko od jej średnicy.
- * Badania czasu odpowiedzi wykazały, że dotychczasowa normalizacja międzynarodowa w tym zakresie dotyczy tylko sond przeznaczonych do małych „horyzontalnych” magazynów płaskich.
- * W normalizacji międzynarodowej, dotyczącej układów pomiarowych temperatury w magazynach „wertykalnych-wysokich” rozumianych jako elewatory, należy wprowadzić wymagania dotyczące czasu odpowiedzi dla sond elastycznych.
- * Badania toksyczności sond przeprowadzono tylko dla jednego typu sond elastycznych. Ze względu na ich znaczenie dla składowania „zdrowej żywności” powinny być one obligatoryjne i wykonywane dla każdego typu sond przeznaczonych do pomiarów w produktach spożywczych.
- * Badania atestacyjne obejmowały tylko dwa typy pomiarów wykonanych po raz pierwszy w jednostce notyfikacyjnej. Powinny być one obowiązujące dla aparatury pomiarowej we wszystkich magazynach zbożowych.
- * Przeprowadzone badania atestacyjne wykonywane były na podstawie dotychczasowych procedur. Będą one musiały być w przyszłości rozszerzone o badania wynikające z Dyrektyw Unii Europejskiej ATEX 100A [151].

Wyniki badań potwierdziły osiągnięcie założonych parametrów, a także przyczyniły się do określenia wymagań, które dotychczas nie były precyzowane. Opracowanie sond wg nowej koncepcji przyczyniły się do udoskonalenia metody pomiarowej. Zastąpiono pomiar uśredniający temperatury przez pomiar punktowy. Ma to szczególne znaczenie w magazynach płaskich, w których pomiary są wykonywane za pomocą sond laskowych. W sondach HD dwuwarstwowy opłot przyczynił się do zmniejszenia sił odkształcających. Pozwoliło to na uproszczenie ich montażu przez rezygnację z zamocowania dolnego. Również zastosowanie czujników z wyjściem cyfrowym, indywidualnie adresowanych, spowodowało uproszczenie zewnętrznych obwodów iskrobezpiecznego systemu monitorowania, co ułatwiło jego montaż, serwis i diagnostykę.

8 PROCEDURY PROJEKTOWANIA I PRZYKŁADY ZREALIZOWANYCH UKŁADÓW I SYSTEMÓW

8.1 Zabudowa systemów monitorowania na obiekcie

Połączenia między jednostką centralną – komputerem PC a jednostkami funkcjonalnymi: koncentratorami sygnałów (multiplexerami), nadajnikami i odbiornikami (konwerterami) są realizowane przez magistralę sygnałową.

Jeśli przyjąć, że znane są założenia techniczno-ekonomiczne, to procedurę projektowania systemu można zdefiniować w trzech podstawowych grupach, jak przedstawiono w tabeli 13.

W pierwszej grupie zostanie ustalony przedział dopuszczalnych zmian temperatury dla poszczególnych etapów składowania ziarna [2, 4, 5]. Będzie to temperatura w funkcji czasu (tygodni, miesięcy) zalecana jako optymalna dla określonego rodzaju zbóż. Można ją sprawdzić, przeprowadzając badania symulacyjne i obiektywne, a następnie ocenić wyniki na podstawie opublikowanych analiz przedstawionych w pracach pod kierownictwem E. Kamińskiego [31, 33, 34] oraz Ł. Fornalowej [14, 15].

Znając budowę magazynu, wyznacza się strefy kontroli temperatury, w których może wystąpić wzrost temperatury. Będą to obszary, w których oddziaływanie chłodzące elementów konstrukcyjnych magazynu będzie małe lub można je pominąć. Określone zostaną również obszary o dużym zapyleniu, w których istnieje zagrożenie wybuchowe. W tych obszarach montaż urządzeń, wykonywanie instalacji oraz sama praca elementów układów pomiarowych muszą być poddane dodatkowej inspekcji ze względu na możliwość inicjacji wybuchu.

Obniżenie temperatury do wartości dopuszczalnych można osiągnąć w elewatorach przez przesypywanie ziarna do wolnej komory. W mniejszych obiektach-silosach i magazynach płaskich stosowana jest aktywna wentylacja. Sterowanie wentylacją wymaga znajomości parametrów obiektu i przeprowadzenia jego identyfikacji, wyznaczając charakterystyki skokowe i częstotliwościowe. Pierwsze takie charakterystyki otrzymano stosując metodę radiacyjną z domieszkowaniem radioaktywnego jodu [36] w powietrzu wentylacyjnym.

W drugiej grupie procedury projektowania przewiduje się analizę wymagań normalizacyjnych oraz ustaleń i zarządzeń normatywnych, W ciągu ostatnich 20 lat uległy one kilkakrotnie zmianom spowodowanym uściśleniem parametrów, wprowadzeniem nowych metod pomiarowych, a także zmianom gatunków zbóż i wymagań przechowalniczych. W ostatnim 5-leciu zwrócono szczególną uwagę na jakość zbóż i wymagania jakościowe wynikające z norm ISO. Obecnie tworzone są procedury jakości, które będą obowiązywały w magazynach państw UE i do których nasz kraj będzie się musiał dostosować [72].

W skład systemu monitorowania wchodzi sondy pomiarowe, czujniki itp. zanurzone w ziarnie i na które ziarno działa mechanicznie. Muszą one mieć odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, a także spełniać wymagania środowiskowe. Ponieważ ziarno jest produktem spożywczym, osłony czujników, sond itp. nie mogą być toksyczne.

Liczba i rozmieszczenie czujników pomiarowych są obecnie określone normami międzynarodowymi [119]. Analiza tych przepisów wskazuje jednak na różne uchybienia, dlatego najlepiej wybrać metodę opartą na znajomości procesu rozchodzenia się ciepła wewnątrz masy ziarna [71].

Na podstawie konfiguracji przestrzennej czujników, stacji pomiarowej itp. można przystąpić do wyboru struktury układu pomiarowego. Wymaga to również opracowania programów komputerowych sterujących systemem monitorowania w celu realizacji pomiarów, przetwarzania danych oraz ich archiwizacji.

8.2 Procedura prac instalacyjnych i uruchomieniowych

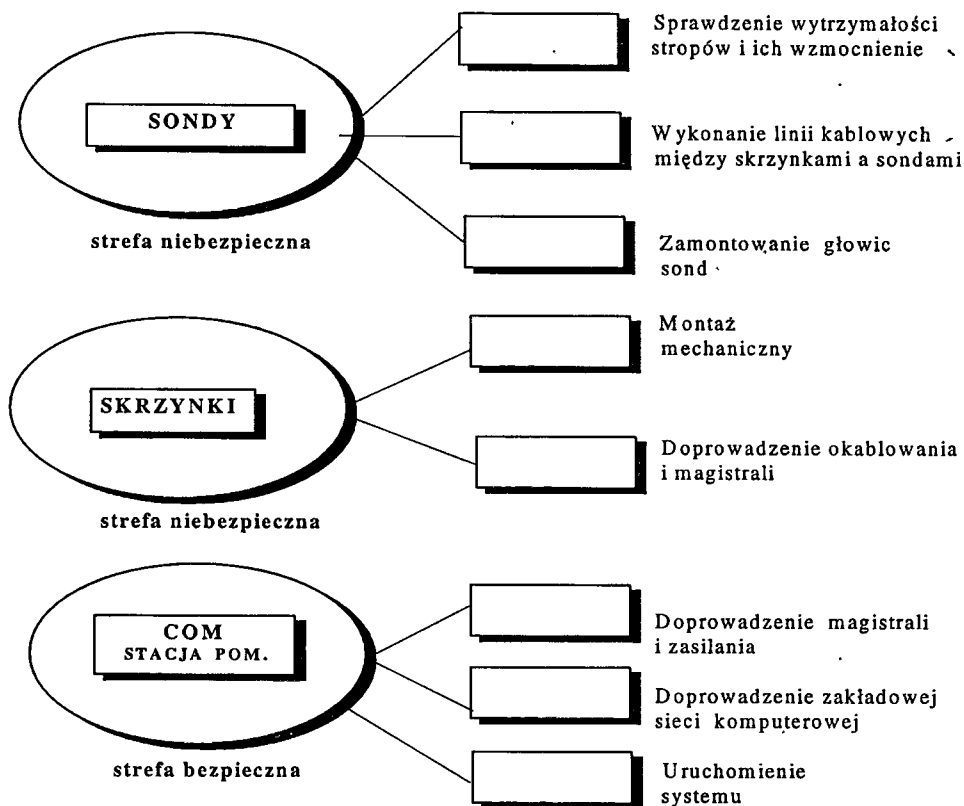
W tabeli 13 i na rys. 60 oraz rys. 61 przedstawiono procedury doboru elementów i urządzeń systemu monitorowania oraz ich instalacji.

W elewatorach występują komory o różnych pojemnościach, ustawione rzędowo w kształcie walców. Między dwoma rzędami walców występują komory gwiazdkowe o mniejszej pojemności, dlatego w elewatorze przeprowadza się dobór czujników i sond pomiarowych dla kilku grup komór o różnych pojemnościach. Głowice sond mocowane są w stropie nad komorami, gdzie są zainstalowane również urządzenia transportu wewnętrznego. W starych elewatorach zainstalowanie głowic sond wymagało wzmocnienia stropu dodatkowymi kratownicami, ponieważ nie przewidywano obciążenia ziarna działającego na sondy. W nowszych stropy są już dostosowane do zawieszenia sond temperatury i mają dużo większą wytrzymałość. W niewielkich odległościach od sond na elementach nośnych-konstrukcyjnych elewatora lub na ścianach podwiesza się skrzynki z koncentratorami sygnałów. Połączone są one kablowo z sondami oraz z magistralą systemu. Przebieg magistrali sygnałowej do stacji pomiarowej wymaga ochrony mechanicznej.

Tablola 13. Procedura projektowania systemu monitorowania

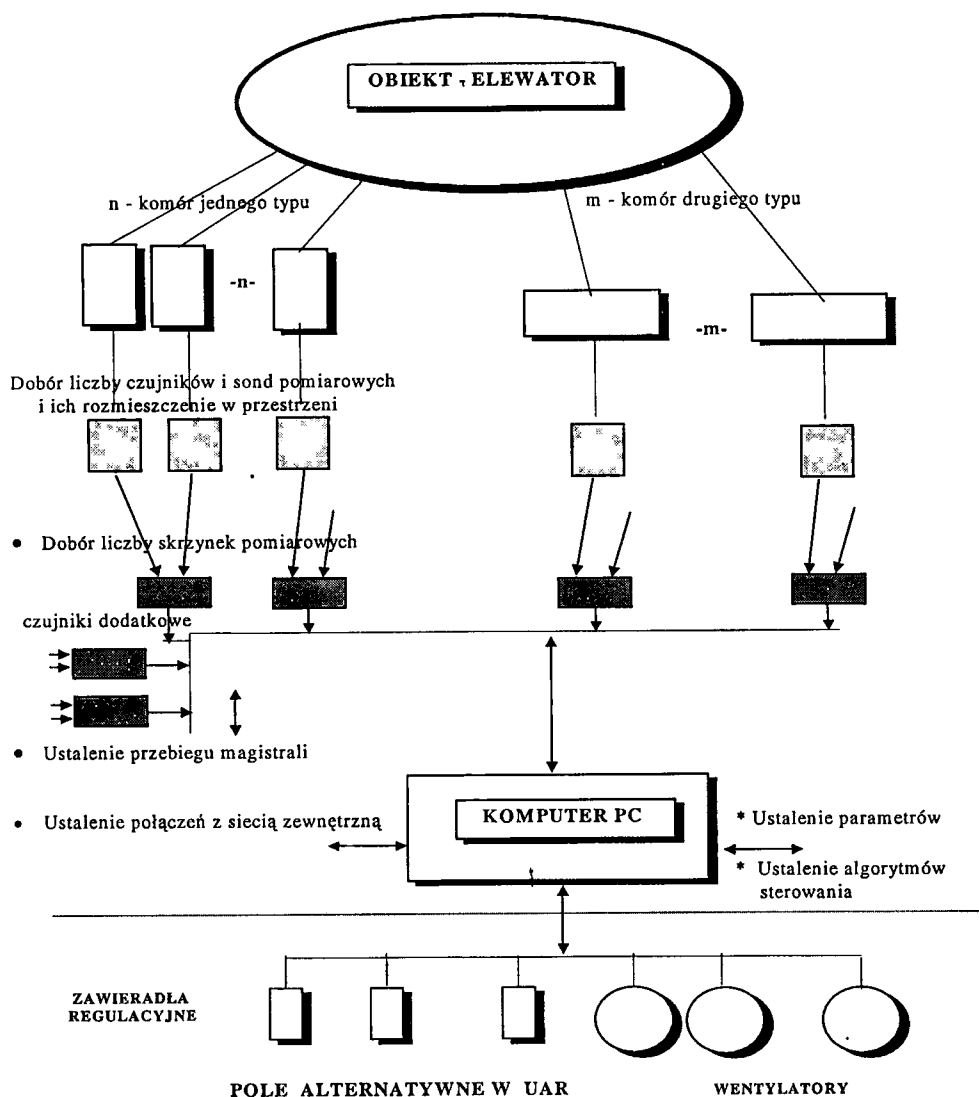
Określenie parametrów termicznych obiektu	Ustalenie wymagań na system monitorowania	Wybór struktur i elementów systemów monitorowania
1. Analiza i wybór struktur. Dobór elementów przesyłu sygnałów. Dobór pozostałych elementów systemu monitorowania.	1. Analiza wymagań: norm krajowych i międzynarodowych, oraz zarządzeń i wymagań użytkowników.	
2. Określenie parametrów obiektu. Badania, symulacyjne i na obiekcie rzeczywistym przebiegów temperaturowych. Wyznaczenie stref w magazynie wymagających ciągłej kontroli temperatury.	2. Określenie parametrów iskrobezpieczeństwa. Określenie liczby punktów pomiarowych i ich rozmieszczenia. Wymagania jakości. Określenie badań środowiskowych.	2. Dobór stacji centralnej-komputerowej. Oprogramowanie.
3. Określenie zagrożeń wybuchowych w magazynach zbożowych.	3. Wymagania i ocena zagrożeń.	3. Zaprojektowanie i wykonanie sond temperatury.
4. Identyfikacja obiektu: charakterystyki skokowe i częstotliwościowe dla UAR		4. Badania modelowe, pilotowe i eksploatacyjne.

Stosuje się również zabezpieczenia przed gryzoniami, które potrafią niszczyć okablowanie. Jeżeli system monitorowania będzie współpracował z UAR sterującym wymuszoną wentylacją, to procedura doboru urządzeń musi uwzględnić zawieradła wentylacyjne, (kłapy, zasuw, przepustnice) nawilzacze i urządzenia sterownicze wentylatorów.



Rys. 60. Wykaz ważniejszych prac instalacyjnych i procedury uruchomieniowej

Projektowanie systemów monitorowania oraz specjalistycznych, elastycznych sond temperatury jest zagadnieniem, któremu poświęca się ostatnio wiele uwagi. Przy znacznej konkurencji na rynku szansę przetrwania mają producenci, którzy potrafią się elastycznie dostosować do reguł rynkowych. Strategia ta uwzględnić musi odpowiedni zysk dla producentów oferujących wyroby spełniając najnowsze wymagania normatywne, a zwłaszcza wymagania w zakresie jakości i bezpieczeństwa pracy w atmosferze zagrożonej wybuchem.



Rys. 61. Procedura projektowania systemu monitorowania

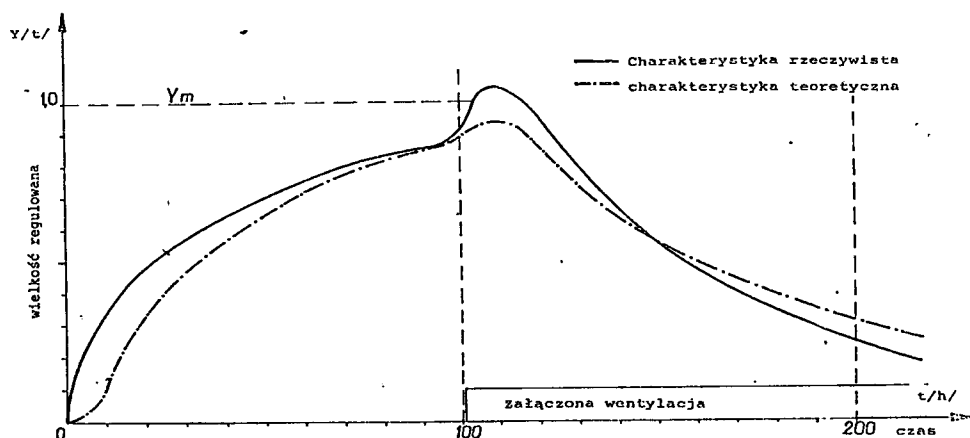
8.3 Identyfikacja obiektu, w którym stosowany będzie układ regulacji temperatury

Charakterystyki skokowe i częstotliwościowe

Algorytm sterowania obejmuje regulację P, PI i PID. Obiekt jest inercyjny, o długiej stałej czasowej, zależnej od kształtu i rodzaju magazynu. Rozważania dotyczą magazynu płaskiego z aktywną wentylacją, rys.4. Identyfikacja obiektu prowadzona była w połowie lat 70. Powstały modele matematyczne, które były podstawą do badań symulacyjnych i obiektowych [39]. Na tej podstawie opracowano specjalistyczną aparaturę regulacyjną. Dalszy etap polegał na stosowaniu aparatury uniwersalnej, a prace projektowe polegały na jej doborze. Ponieważ spełnienie założonych procedur regulacyjnych części centralnej UAR wymaga odpowiedniego zaprogramowania sterownika PLC lub zespołu PC i doboru elementów, w dalszej części pracy będzie to pominięte jako zagadnienia znane. Przedstawione zostaną natomiast metody identyfikacji obiektu oraz rezultaty prac dotyczące elementów wykonawczych.

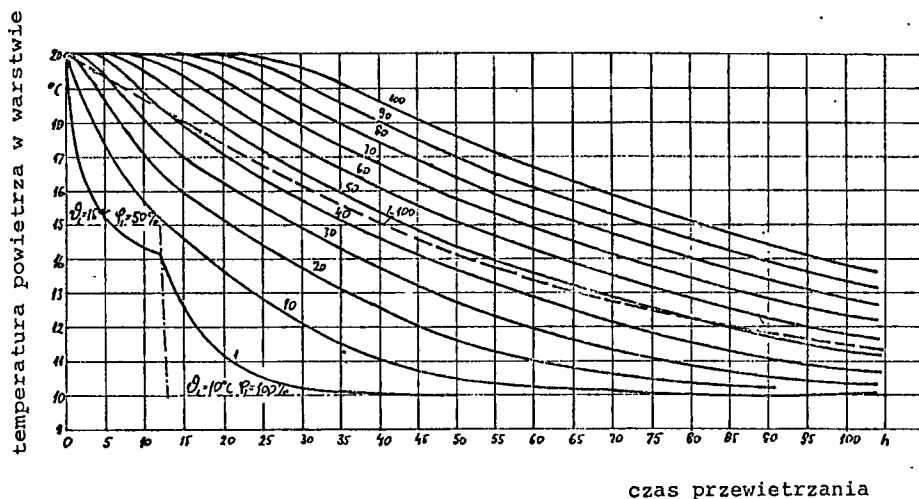
Większość magazynów zbożowych to obiekty wolnozmienne. Czas zwłoki wynosi do kilku godzin. Wyznaczanie charakterystyk skokowych i charakterystyk częstotliwościowych prowadzi się odpowiednią aparaturą, np. w PIAP analizatorem przebiegów dynamicznych – *Process response analyser*. Niestety, aparatura ta nie jest przydatna do obiektów z tak dużą inercją. Dlatego nawiązano współpracę z Niemiecką Akademią Nauk i z Instytutem Mechanizacji Rolnictwa w Poczdamie, gdzie przeprowadzono pierwsze badania identyfikacyjne magazynów rolniczych [36, 42].

Charakterystykę czasową wyznaczono dla pryzmy doświadczalnej złożonej z wielu warstw, w których znajdują się czujniki temperatury (rys. 62, rys. 63). Początkowo pryzma nie była wentylowana i miała temperaturę otoczenia rzędu 20 °C. Następnie skokowo włączono wentylację skierowując powietrze od warstwy dolnej 1 do n. Powietrze wentylacyjne powinno mieć temperaturę nie niższą niż o 5 °C w stosunku do temperatury w dolnej warstwie, ponieważ niższe temperatury mogłyby powodować tzw. przeziębienie produktu i jego niszczenie. Wilgotność powietrza wynosiła 80 %.

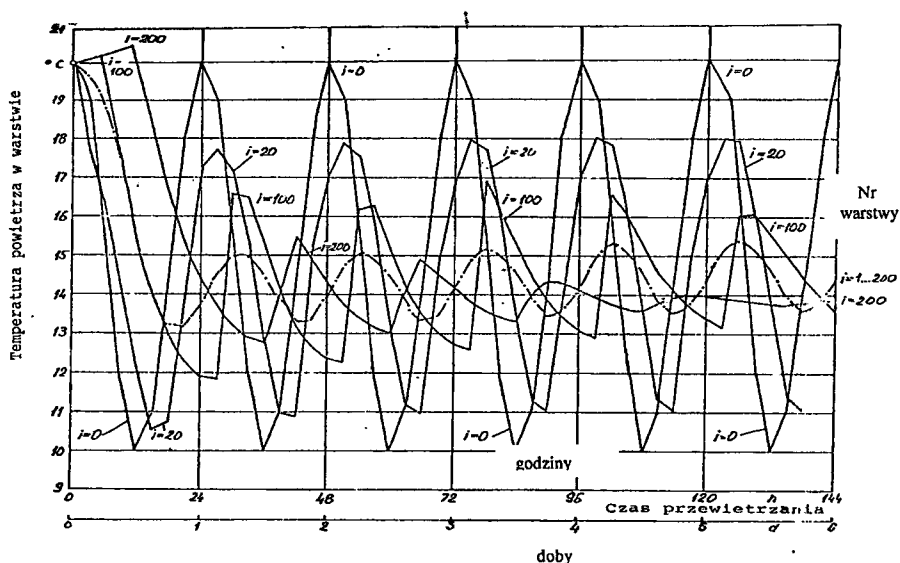


Rys. 62. Zmiana temperatury w środkowej warstwie pryzmy przed jej wentylowaniem i po skokowym załączeniu wentylatora

Z przedstawionego wykresu wynika, że stopniowo wszystkie warstwy ulegają ochłodzeniu. W pierwszej warstwie, bezpośrednio narażonej na oddziaływanie powietrza wentylacyjnego, występuje silne odparowanie wody. W wyższych warstwach występuje pobieranie wilgoci z powietrza wentylacyjnego. Widoczne zakrzywienia w charakterystykach temperaturowych, w niższych warstwach, są wynikiem *efektu psychrometrycznego*. Dla pryzmy doświadczalnej czas opóźnienia dochodzi do wartości wyższej niż 20 godzin. W rzeczywistych obiektach jest on znacznie większy, w zależności od masy wentylowanego ziarna.



Rys. 63. Zmiana temperatury dla 100 warstw pryzmy po załączeniu wentylacji, pryzma 1 położona jest najbliżej wlotu powietrza wentylacyjnego



Rys. 64. Przebieg zmian temperatury w przewietrzanych warstwach przy cosinusoidalnych zmianach temperatury powietrza wentylacyjnego, dawka powietrza $60 \text{ m}^3 / \text{t,h}$

Powietrze wentylacyjne o tych samych parametrach, jak przy wyznaczaniu charakterystyki skokowej, zmieniano w funkcji cosinusoidalnej (rys. 64), w celu zapewnienia maksymalnego przepływu, rejestrując temperaturę w poszczególnych warstwach. Sprawdzano również rozpyły powietrza. W celu umożliwienia obserwacji, powietrze było domieszkowane radioaktywnym jodem i środkami koloryzującymi. Badania, z udziałem autora, prowadzone były w Stacji Doświadczalnej Niemieckiej Akademii Nauk w Poczdamie podczas opracowywania systemu regulacji dla przechowalnictwa rolniczego.

Wniosek

W przebiegach przedstawionych na rys. 64 jest widoczna asymetria przebiegu temperaturowego między wzrostem charakterystyki temperaturowej a jej spadkiem. Przyczyną tego zjawiska jest kondensacja pary wodnej. Przesunięcie fazowe ostatniej obserwowanej warstwy wynosi ponad 20 h. Przy zmniejszonym strumieniu powietrza występuje zmniejszenie amplitudy przebiegów wymuszonych, tym silniejsze, im zwiększa się odległość od warstwy dolnej (1). Warstwa ta jest położona przy wlocie strumienia powietrza wentylacyjnego.

8.4 Przykłady zrealizowanych układów i systemów pomiarowych

Układy pomiarowe montowane w krajowych elewatorach zbożowych w latach 50. pochodziły z fabryk przemysłu górniczego. Parametry układów i systemów pomiarowych są zgodne z przedstawionymi założeniami dotyczącymi wymagań, w rozdziale 4 i przedstawione są w kartach katalogowych. W systemach pomiarowych, początkowo, wykorzystywano zasadę bezpośredniego połączenia sond temperatury z szafą pomiarową na płycie, której przełącznikowo - ręcznie wybierano sondę pomiarową i prowadzono odczyty na miernikach logometrycznych. Nie była wówczas znana technika zabezpieczeń pracy tego układu w obszarach zagrożonych wybuchem, którą dopiero wprowadzono w latach 80. i to w układach importowanych do Polski.

Układy pomiarowe i systemy monitorowania, które są przedstawione, zostały oddane do eksploatacji w ostatnich 20 latach. Rozwiązania konstrukcyjne uzależnione były od rozwoju systemów elektronicznych, a także od możliwości technologicznych krajowych fabryk kablowych, w których wykonywane były pancernie sond elastycznych temperatury. Kolejność prezentacji zgodna jest z przyjętą klasyfikacją strukturalną systemów pomiarowych.

Pierwszy przykład dotyczy struktury o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych w iskrobezpiecznych torach pomiarowych ze standardowym sygnałem prądowym. Układ przedstawiony na rys. 65 przeznaczony jest do pomiarów temperaturowych w silosach stalowych 150 t w których znajdowała się mąka lub granulaty kakaowy. Elastyczne sondy 3 - czujnikowe zawieszane są pod stożkiem zasypowym silosu. Potrójny tor pomiarowy w wykonaniu iskrobezpiecznym z atestami KD GIG Kopalnia Barbara składa się z przetworników sygnałowych APR 727 przetwarzających liniowo rezystancję czujników termorezystancyjnych typu Pt 100 na standardowy sygnał prądowy. Do zasilenia przetworników dwuprzewodowych stosowany jest separator ASS - 112, który zapewnia również oddzielenie galwaniczne obwodów wejściowych od obwodów wyjściowych.

Przepływ sygnałów ze strefy niebezpiecznej do bezpiecznej odbywa się przez bariery ochronne z diodami Zenera - BZ. Na oddalonym monitorze 26-calowym ze sterownikiem mikroprocesorowym PLC w wykonaniu przemysłowym dokonuje się pomiaru temperatury i jego archiwizacji. Układ został zainstalowany w koncernie Master Foods i jest wykonany zgodnie z wymaganiami inwestora amerykańskiego. W systemie z sondami 6-czujnikowymi stosowany był iskrobezpieczny układ przedstawiony na rys. 66, z multiplekserem i demultiplekserem ograniczającym magistralę wieloprzewodową. Układ ten zbudowany został z bloków, które mają certyfikaty iskrobezpieczeństwa brytyjskie i polskie. W trakcie badań dokładności pomiaru wystąpiły błędy dodatkowe, spowodowane wystąpieniem składowej zmiennej w sygnale przesyłowym, a także pojawieniem się przepięć, co było przedmiotem oddzielnej analizy.

System pomiaru temperatury z sondami typu EST - 11 produkcji PIAP wyposażony jest w nowe cyfrowe czujniki Dallas Semiconductor, USA typu DS18B20, które wprowadzono na życzenie polskich użytkowników. Zastosowanie cyfrowych czujników Dallas Semiconductor w układach monitorowania pozwoliło na znaczące obniżenie liczby przewodów łączących do trzech oraz uproszczenie bloków i przetworników pośredniczących między sondami (czujnikami) a zestawem komputerowym. Pozwoliło to na obniżenie kosztów systemu, zwiększenie dokładności pomiarów i niezawodności systemu. Czujniki połączone są równolegle, tak jak przedstawiono na rys. 67, z wyjściem na magistralę równoległą. Magistrala ta sprzężona jest za pośrednictwem adaptera firmy Dallas Semiconductor, który przetwarza sygnał cyfrowy stosowany przez tę firmę systemu „1 - Wire system” na sygnał o standardzie RS-232. Czujniki i adapter zasilane są za pośrednictwem bariery MTL 758. Adresowane są one indywidualnie tzn. firmowo określono ich numery, które można przywołać we współpracującym komputerze typu PC, stosując odpowiedni program. Po inicjacji adresowej czujnik wysyła do komputera po magistrali informacje określające aktualną wartość temperatury. Następnie można ją odczytać, przetwarzać, archiwizować itp.

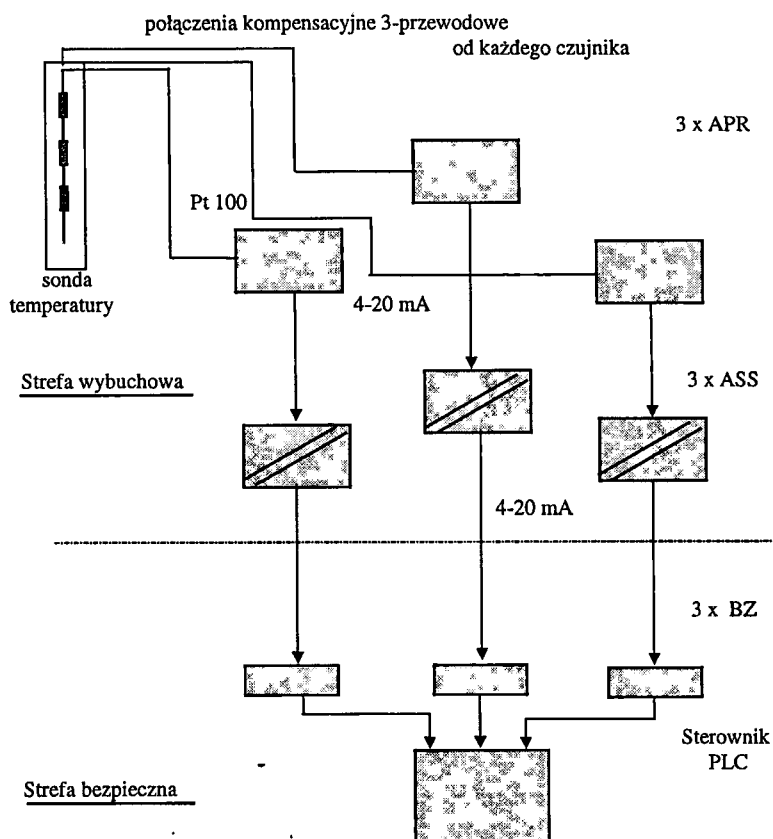
W strefie zagrożonej wybuchem znajdują się czujniki temperatury, które są w obwodach iskrobezpiecznych. W magistrali RS-232 zastosowano separator dwustronny (bipolarny) przewodzący sygnały w obu kierunkach od czujników do komputera i odwrotnie. Separator zapewnia także oddzielenie galwaniczne i obniżenie poziomu mocy z obwodów ze strefy bezpiecznej do strefy zagrożonej wybuchem. Zastosowano jeden z równorzędnych separatorów firmy MTL lub separatory firmy Pepperl + Fuchs. Separatory te mają atesty BASEEFA wg notyfikacji brytyjskiej.

W torze zasilania czujników zastosowano barierę oraz zasilacz. Bariera posiada certyfikaty BASEEFA, a także KDB ponieważ już wcześniej rozprowadzona była w kraju. Zasilacz czujników o napięciu 4,7 V dc ma również certyfikat KD GIG „Barbara”. Drugi zasilacz 18V dc, też posiada certyfikat KDB i dostarcza napięcie do separatora.

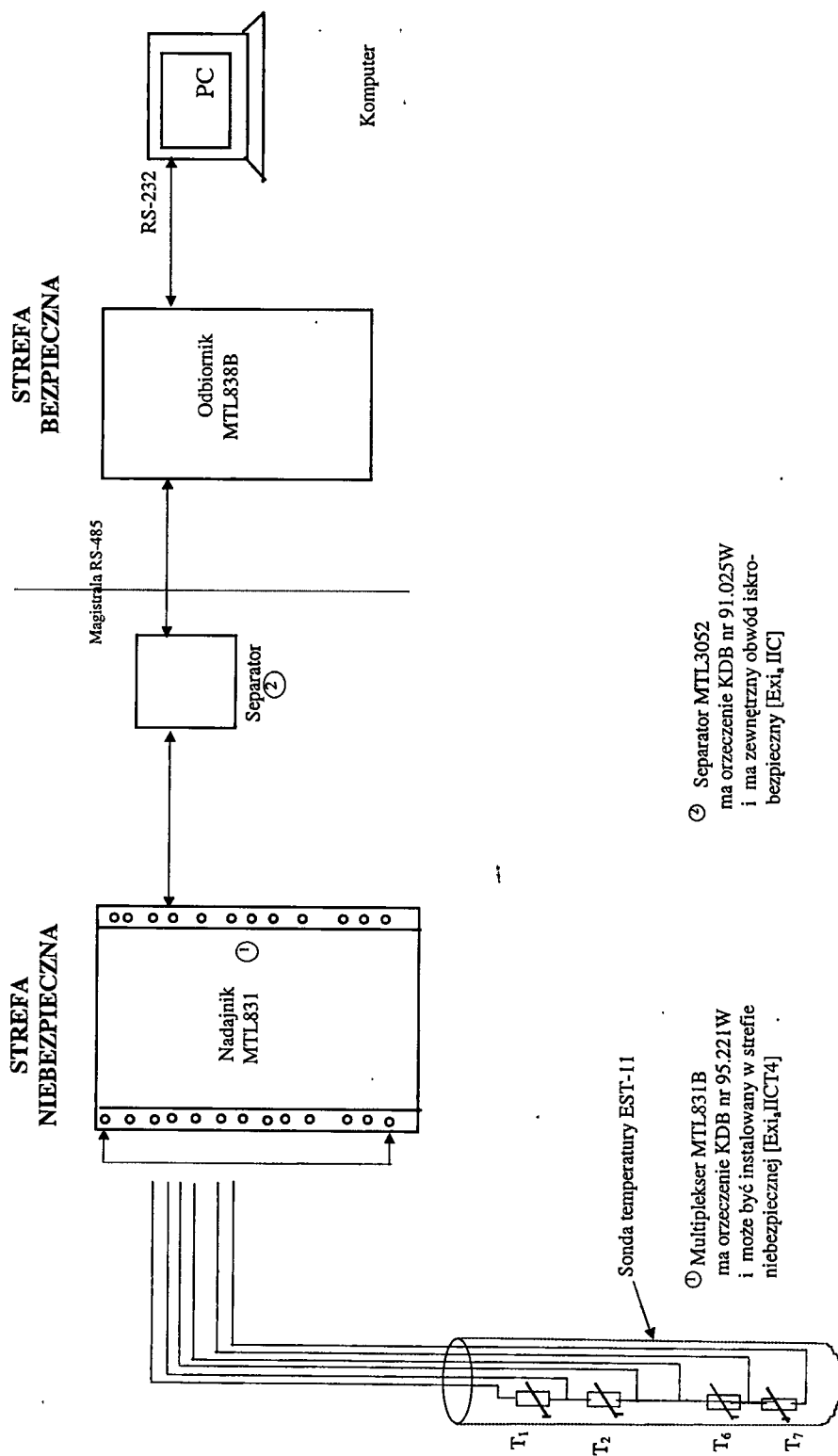
Pozostałe elementy systemu pomiarowego (zestaw komputerowy) znajdują się w strefie bezpiecznej i nie stanowią zagrożenia wybuchowego, ponieważ znajdują się w wydzielonych pomieszczeniach biurowych oddległych od strefy o wysokim zapyleniu występującym w elewatorach zbożowych.

Użytkownik typowego systemu monitorowania ma możliwość wyboru na rysunku synoptycznym całego obiektu, rys. 69, i interesującej komory, rys. 70, i odczytu temperatur z zainstalowanej w niej sond pomiarowych. Wartości temperatur przedstawione są w formie cyfrowej oraz na symbolach balograficznych termometrów. Można również przedrukować wartości temperatur z całego obiektu. Podawane są one w raporcie dziennym składającym się z jednego formatu A4, tablica 14, który jest dokumentem potwierdzającym przeprowadzeniu kontroli obiektu. Niektórzy technologowie w elewatorach stawiają również życzenie wydruków

przyrostów temperatury w skali tygodniowej, co zostało zrealizowane i przedstawione w tablicy 15. Można również wykonać zobrazowanie graficzne ciągłych zmian temperatury w funkcji czasu dla zagrożonej komory, w której następuje zintensyfikowanie procesów metabolicznych.

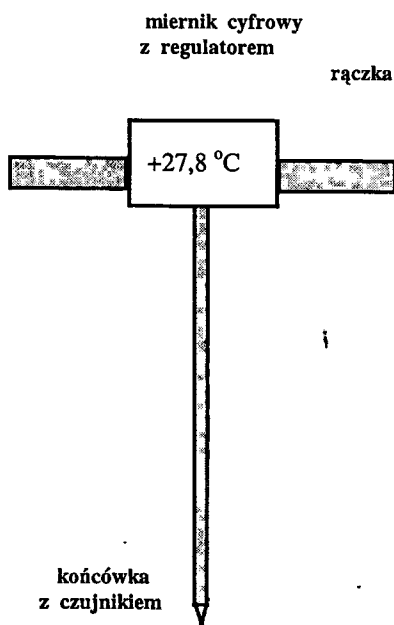


Rys. 65. Schemat ideowy pomiaru temperatury w iskrobezpiecznym systemie analogowo-cyfrowym o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych (wg koncepcji autora)

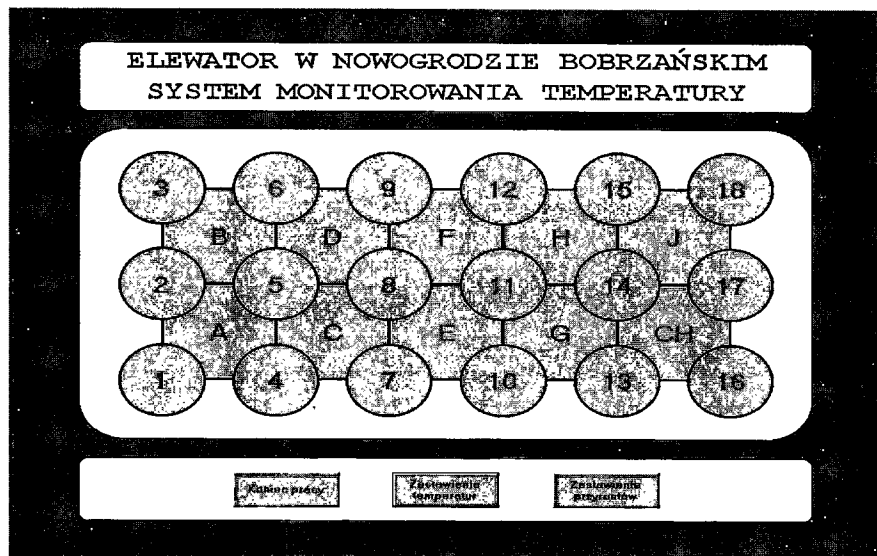


Rys. 66. Schemat ideowy systemu METROTHERMDAC 30 Ex

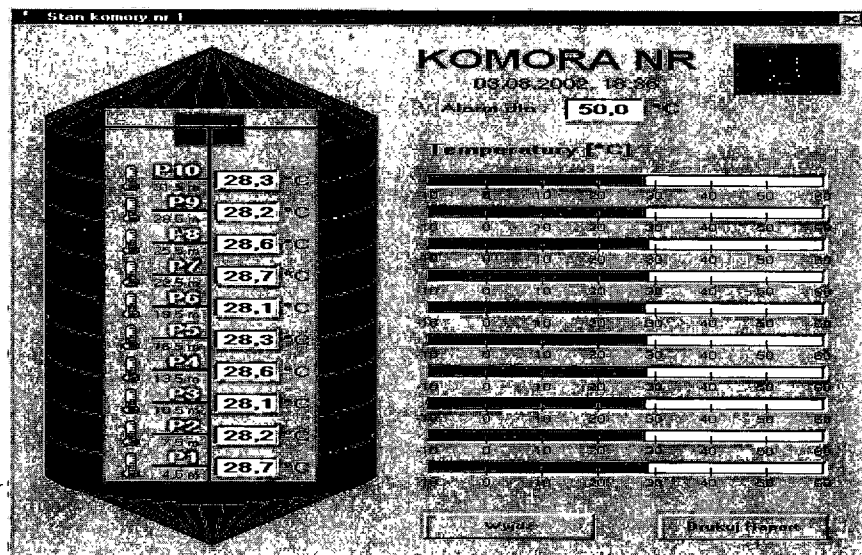
Na zakończenie przeglądu przedstawiony będzie opis sondy, rys.68, przeznaczonej do pomiarów i regulacji temperatury w magazynach płaskich. Pryzma zboża nie jest w nich wysoka i nie przekracza 4 m. Pomiar polega na wprowadzeniu sondy laskowej w postaci rury na głębokość połowy pryzmy. Sondę wbija się w ziarno, a jeśli jest to trudne (np. zboże jest skawalone) to wówczas wciska się ją obracając, ponieważ w końcówce zamontowano świder. Czujnik zamontowany jest w pobliżu końcówki sondy i odwzorowuje punktowo temperaturę. Jest to zaleta tej sondy, ponieważ w wielu dotychczasowych rozwiązaniach mierzono temperaturę zewnętrznej rury sondy uśredniając rzeczywistą temperaturę ziarna. W rękojeści sondy znajduje się miernik cyfrowy z własnym zasilaniem baterijnym. Operator może tym samym miernikiem, wyposażonym w regulator dwustawny, przeprowadzić regulację temperatury sterując wentylatorem stosowanym do aktywnej wentylacji. Sondy te oprócz magazynów zbożowych znalazły również zastosowanie w dużych warszawskich kompostowniach. Stosowane są również do badań i dydaktyki w kilku uczelniach rolniczych. Układy regulacyjne, opracowane w IBMER przez autora i przeznaczone do magazynów płaskich są przedstawione w kilku publikacjach [42, 44, 46].



Rys. 68. Sonda laskowa tempera o długości 2 m, wg koncepcji autora



Rys. 69. Rozmieszczenie komór elewatora



Rys. 70. Pomiar temperatury w jednej komorze za pomocą sondy 10-czujnikowej

Tablica 14. Raport dzienny wartości temperatur w całym elewatorze

Zestawienie aktualnych temperatur w komorach

Zestawienie temperatur [°C] w komorach, 17.08.2002, 18: 03.

POZIOM	KOMORA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	24.7	17.8	26.6	26.8	16.0	21.5	25.2	28.1	25.5	29.8	18.3	27.1	26.6	22.4
9	19.4	21.1	26.4	19.9	15.4	13.4	25.7	29.8	28.1	28.7	17.6	26.6	22.0	23.1
8	18.1	21.3	28.8	28.3	16.5	13.4	27.3	33.6	26.9	28.5	21.6	26.3	22.2	23.6
7	18.3	23.3	28.4	18.6	16.5	13.3	28.3	33.4	25.8	30.8	26.3	25.9	22.6	24.4
6	18.7	27.1	28.4	16.9	16.3	13.3	26.6	34.8	26.1	30.1	21.8	25.9	22.1	21.4
5	18.7	20.4	25.3	17.2	16.6	13.2	27.2	33.2	28.1	34.9	18.8	25.7	21.6	24.9
4	18.1	18.0	26.6	17.0	16.6	13.1	23.9	31.1	27.1	32.3	19.3	25.6	21.3	23.8
3	16.8	18.3	27.6	15.6	17.3	12.6	28.1	31.7	25.9	32.4	20.1	25.4	21.0	23.2
2	16.8	17.9	29.2	15.3	15.9	12.1	28.8	32.6	30.8	31.2	17.8	27.6	21.2	25.5
1	16.8	17.6	30.4	17.2	12.1	10.4	28.4	31.4	25.4	29.8	15.6	23.8	20.4	24.4

POZIOM	KOMORA													
	15	16	17	18	A	B	C	D	E	F	G	H	CH	J
10	22.1	26.6	25.6	27.2	23.5	24.1	22.2	23.1	25.0	28.1	25.6	18.5	21.5	24.5
9	20.8	21.6	24.8	26.6	24.6	25.4	23.1	23.3	24.4	16.5	19.8	15.6	21.8	28.3
8	23.1	14.6	22.5	21.4	23.5	26.0	20.9	24.0	24.4	17.2	19.1	18.0	21.1	29.8
7	25.6	14.8	22.6	19.4	23.4	25.6	25.3	22.8	24.4	16.6	15.6	17.5	21.9	28.8
6	22.7	14.7	22.9	21.4	25.9	26.1	24.6	25.4	24.5	16.6	14.8	25.3	21.6	28.8
5	22.1	14.3	21.8	22.8	25.8	25.1	24.1	24.4	24.5	16.5	14.1	22.3	20.3	29.6
4	18.8	14.3	21.1	24.4	28.8	25.3	25.2	24.3	22.5	17.1	13.8	22.1	19.1	29.3
3	17.3	14.1	18.0	24.6	24.3	27.4	23.8	24.2	22.1	17.3	13.9	19.9	19.2	28.3
2	17.8	13.1	14.6	23.1	24.4	27.2	23.3	23.4	20.6	16.4	13.6	17.6	21.5	28.5
1	16.7	11.8	15.9	21.3	24.9	24.9	25.3	22.6	21.2	13.8	15.0	15.1	18.8	28.3

znak ----- oznacza, że termometr jest logicznie odłączony, znak ? oznacza brak odkrytej temperatury.

Wyjdź

Drukuj Raport

Tablica 15. Raport tygodniowy przyrostów temperatur

Zestawienie tygodniowych przyrostów temperatur

Zestawienie tygodniowych przyrostów temperatur w komorach [°C].

POZIOM	KOMORA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-1.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
9	0.7	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-1.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1
8	0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-2.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1
7	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	0.0	0.0	-1.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0
6	0.5	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-1.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1
5	0.0	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-1.1	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	-0.1
4	0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-1.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
3	0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-1.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-1.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0
1	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-1.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1

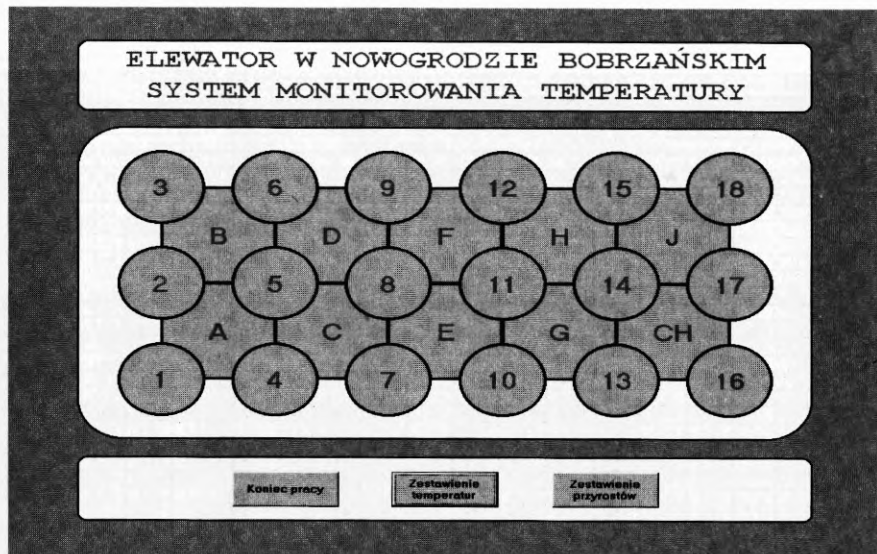
POZIOM	KOMORA													
	15	16	17	18	A	B	C	D	E	F	G	H	CH	J
10	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1
9	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
8	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
7	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2
6	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.2
5	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
4	0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2
3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.1
2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1
1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0

znak ----- oznacza brak możliwości obliczenia przyrostu tygodniowego.

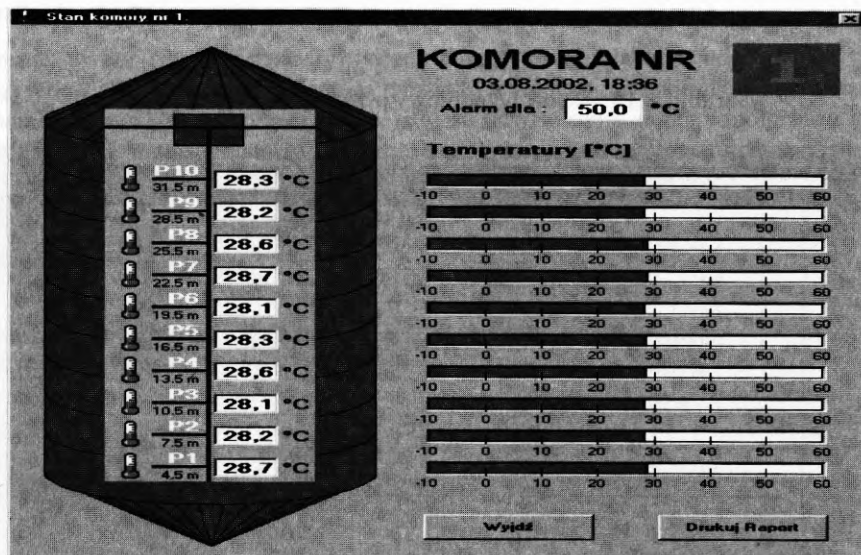
Zmierzaczka wyłączona.

Wyjdź

Drukuj Raport



Rys. 69. Rozmieszczenie komór elewatora



Rys. 70. Pomiar temperatury w jednej komorze za pomocą sondy 10-czujnikowej

Tablica 14. Raport dzienny wartości temperatur w całym elewatorze

Zestawienie aktualnych temperatur w komorach

Zestawienie temperatur [°C] w komorach, 17.08.2002, 18: 03.

POZIOM	KOMORA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	24,7	17,8	26,6	26,8	16,0	21,5	25,2	20,1	25,5	29,8	19,3	27,1	26,6	22,4
9	19,4	21,1	26,4	19,9	15,4	13,4	25,7	29,8	26,1	28,7	17,6	26,6	22,0	23,1
8	18,1	21,3	28,0	20,3	16,5	13,4	27,3	33,6	25,9	28,5	21,6	26,3	22,2	23,6
7	18,3	23,3	29,4	19,6	16,5	13,3	28,3	33,4	25,8	30,9	26,3	25,9	22,6	24,4
6	18,7	27,1	28,4	16,9	16,3	13,3	26,6	34,8	26,1	30,1	21,8	25,9	22,1	21,4
5	18,7	20,4	25,3	17,2	16,6	13,2	27,2	33,2	28,1	34,9	18,8	25,7	21,6	24,9
4	18,1	18,0	26,6	17,0	16,6	13,1	23,9	31,1	27,1	32,3	19,3	25,6	21,3	23,8
3	16,8	18,3	27,6	15,6	17,3	12,6	28,1	31,7	25,9	32,4	20,1	25,4	21,0	23,2
2	16,8	17,9	29,2	15,3	15,9	12,1	28,8	32,6	30,8	31,2	17,8	27,6	21,2	25,5
1	16,8	17,6	30,4	17,2	12,1	10,4	28,4	31,4	25,4	29,8	15,6	23,8	20,4	24,4

POZIOM	KOMORA													
	15	16	17	18	A	B	C	D	E	F	G	H	CH	J
10	22,1	26,6	25,6	27,2	23,5	24,1	22,2	23,1	25,0	20,1	25,8	18,5	21,5	24,5
9	20,0	21,6	24,0	26,6	24,6	25,4	23,1	23,3	24,4	16,5	18,0	15,6	21,8	29,3
8	23,1	14,6	22,5	21,4	23,5	26,0	20,9	24,0	24,4	17,2	19,1	18,0	21,1	29,9
7	25,5	14,9	22,6	19,4	23,4	25,6	25,9	22,8	24,4	16,6	15,6	17,5	21,9	28,9
6	22,7	14,7	22,9	21,4	25,9	26,1	24,6	25,4	24,5	16,6	14,8	25,3	21,6	28,9
5	22,1	14,3	21,0	22,8	25,8	25,1	24,1	24,4	24,5	16,5	14,1	22,3	20,3	29,6
4	18,0	14,3	21,1	24,4	26,8	25,3	25,2	24,3	22,5	17,1	13,8	22,1	19,1	29,9
3	17,3	14,1	18,0	24,6	24,3	27,4	23,9	24,2	22,1	17,3	13,9	19,9	19,2	29,3
2	17,0	13,1	14,6	23,1	24,4	27,2	23,3	23,4	20,6	15,4	13,6	17,6	21,5	28,5
1	16,7	11,0	15,9	21,3	24,9	24,9	25,3	22,6	21,2	13,8	15,0	15,1	18,8	28,3

Legenda: --- oznacza, że termometr jest błędnie odczytany, znak ? oznacza brak odczytu temperatury.

Wyjdź Drukuj Raport

Tablica 15. Raport tygodniowy przyrostów temperatur

Zestawienie tygodniowych przyrostów temperatur w komorach [°C].

Zestawienie tygodniowych przyrostów temperatur w komorach [°C].

POZIOM	KOMORA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-1,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
9	0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-1,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1
8	0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-2,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
7	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-1,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0
6	0,5	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-1,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
5	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-1,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,1
4	0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-1,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
3	0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-1,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-1,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0
1	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-1,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1

POZIOM	KOMORA													
	15	16	17	18	A	B	C	D	E	F	G	H	CH	J
10		0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1
9	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
8	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
7		-0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2
6	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2
5	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1
4	0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2
3		-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,1
2	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1
1		-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0

Legenda: --- oznacza brak możliwości obliczenia przyrostu tygodniowego. Zarchiwizuj Wynik

Wyjdź Drukuj Raport

Podsumowanie i wnioski

- * Przedstawione układy pomiarowe i systemy monitorowania są sklasyfikowane etapowo: od układów najstarszych do współczesnych systemów magistralowych.
- * Dla systemów monitorowania opracowano również procedury ich projektowania oraz dostosowania obiektu do ich zabudowy.
- * Zaprezentowano również iskrobezpieczny system monitorowania z magistralą z interfejsami RS-485, RS-232 i jego aplikację obiektową z widokiem tabelarycznego zestawienia wyników pomiarowych temperatury całego obiektu i przeliczeniowych - przyrostów temperatury.
- * Na ekranie monitora znajdują się symbole termometrów klasycznych i przypisane im wartości cyfrowe temperatury wkomponowane w rysunek synoptyczny sondy pomiarowej z wieloma czujnikami. Takie przedstawienie graficzne wynika bardziej z tradycji odczytów w dotychczasowych systemach pomiarowych niż z potrzeb metrologicznych.
- * Iskrobezpieczny układ pomiarowy temperatury wykonany w technice analogowo-cyfrowej, który został opisany w niniejszym rozdziale, jest stosowany w baterii małych silosów i poprzez własny sterownik mikroprocesorowy jest włączony do systemu komputerowego sterującego całym obiektem (Master Foods – Poland).
- * Przedstawiono również atestowany system monitorowania z certyfikowanymi sondami pomiarowymi wyposażonymi w czujniki z wyjściem cyfrowym i pracującymi w sieci „1 – Wire”.
- * Obecnie uważa się magistralowy system monitorowania jako najodpowiedniejszy do magazynów zbożowych ze względu na możliwości jego prostej konfiguracji przestrzennej, odporności na zakłócenia przemysłowe, łatwość serwisowania, dobrą współpracę z innymi systemami, np. regulacyjnymi, a zwłaszcza wysokimi parametrami metrologicznymi.
- * Nowe systemy iskrobezpieczne mają wprowadzone funkcje autodiagnostyczne umożliwiające walidację czujników temperatury i szybką wymianę uszkodzonych sond pomiarowych.

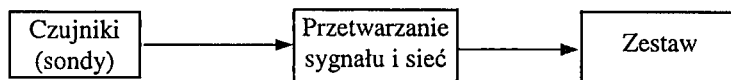
Obserwuje się zwiększenie funkcji, w systemach monitorowania, komputerów PC początkowo stosowanych tylko do pomiaru, a obecnie używanych już do sterowania wentylacją wymuszoną, sterowania przepływem masy ziarna w magazynie, ważeniem ziarna itp. Część tych funkcji była dotychczas realizowana oddzielnie za pomocą sterowników mikroprocesorowych.

9. WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNE SYSTEMÓW MONITOROWANIA I ODDZIAŁYWANIA ZEWNĘTRZNE

W elewatorach zbożowych stosowane są iskrobezpieczne systemy monitorowania ze względu na zagrożenie wybuchowe występujących tam pyłów. Różnią się one budową w stosunku do znanych systemów monitorowania spotykanych w innych obiektach bez zagrożeń wybuchowych. Z opisu zrealizowanych systemów (7.4) można się zorientować, że zawierają dodatkowe elementy ograniczające wartość przepływu energii do wartości, która nie spowoduje zapłonu pyłu zbożowego. Będą to bariery Zenera, różnego rodzaju separatory zapewniające oddzielenie galwaniczne a także zasilacze i inne aparaty przeznaczone tylko do systemów iskrobezpiecznych [16]. Powstaje więc pytanie, jakie ww. elementy mają wpływ na dokładność pomiaru systemu monitorowania i jaka jest odporność na występujące zakłócenia przemysłowe. Terminologia stosowana w niniejszym rozdziale podlegała ewolucji związanej z postępowaniem prac dostosowawczych norm krajowych do unijnych. Początkowo obowiązywały definicje i określenia podane w „Międzynarodowym słowniku podstawowych i ogólnych terminów metrologii” [147], następnie zgodnie z opracowaniem „Obliczenie niepewności pomiaru – przewodnik metodyczny” [148], a ostatnio z normami pt. „Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów” [121].

9.1 Analiza dokładności pomiaru

System monitorowania w elewatorze zbożowym składa się z czujników pomiarowych, systemu przetwarzania i przesyłu sygnału na odległość oraz układów przetwarzania sygnału i dostosowania do zestawu komputerowego. Za pomocą tego zestawu wykonuje się wizualizację wartości pomiarowych, przetwarzanie wartości, archiwizację itp., jak to przedstawiono na rys. 71.



Rys. 71. Schemat blokowy systemu monitorowania

Systemy monitorowania wykonywane są z zastosowaniem dwuprzewodowych torów pomiarowych ze standardowymi sygnałami prądowymi. W połowie lat 80. do transmisji sygnałowej na większe odległości wprowadzono cyfrowe tory transmisyjne w standardzie interfejsu RS-485 [114], które znacznie poszerzyły możliwości pomiarowe tych systemów. Początkowo stosowane były czujniki pomiaru temperatury z wyjściem analogowym i multipleksery do transmisji sygnału na odległość. Obecnie wprowadzane są nowe aplikacje z czujnikami z wyjściem cyfrowym, czujnikami inteligentne itp., których zalety widoczne są szczególnie w systemach iskrobezpiecznych dopuszczonych do stosowania w magazynach zbożowych.

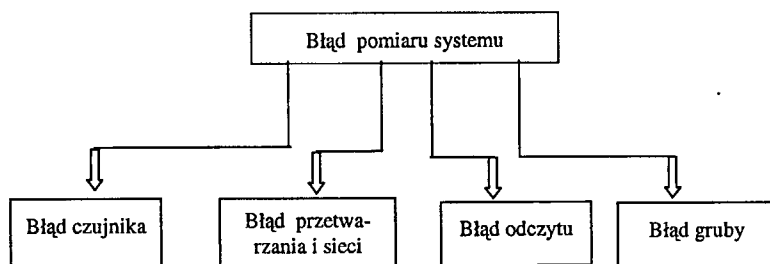
Dokładność systemu monitorowania zależy od metody pomiarowej i od stosowanej aparatury.

Określa się ją stopniem zgodności między wynikiem badań a przyjętą wartością odniesienia.

Temperaturę wyznaczoną w systemie monitorowania porównywano z wartością wskazaną przez wysokiej klasy miernik Keithley, stosowany w laboratorium PIAP do wzorcowania czujników i sond temperatury (rozdz. 7).

Dokładność pomiaru systemu monitorowania, zgodnie z założeniami, wynosić powinna $\pm 0,5$ °C. Wymagana jest granica powtarzalności z prawdopodobieństwem 95 %. Stabilność wyników badań powinna być z rozstępem 0,5.

Błąd pomiaru systemu monitorowania określony jest przez różnicę między wynikiem pomiaru a wartością prawdziwą wielkości mierzonej [147] i spowodowany jest występowaniem kilku błędów cząstkowych. Dla jednego toru pomiarowego składa się on z błędów czujnika pomiarowego, błędu przetwarzania i przesyłania sygnałów pomiarowych na odległość między tymi czujnikami (sondami pomiarowymi) a jednostką centralną (zestaw komputerowy) oraz z błędu odczytu wartości pomiarowej występującej w tej jednostce, rys. 41. Błąd czujników określany jest przez ich dokładność gwarantowaną przez producenta. Błąd przesyłania sygnałów pomiarowych składa się z kilku błędów, na które ma istotny wpływ zastosowana technika iskrobezpieczna. Będą to: to błąd przetwarzania sygnału z czujników pomiarowych na sygnał standardowy stosowany w torze transmisyjnym (sieci), błąd wprowadzany przez bariery (separatory) ograniczające dopuszczalną wartość prądu, a także błąd ponownego przetwarzania na sygnał dostosowany do jednostki centralnej i błąd odczytu, rys.72.



Rys. 72. Schemat powiązań błędów pomiaru systemu

Błędy grube uwidaczniają się w niektórych przedziałach temperatury, np. dla rozpatrywanego systemu analogowego między 40 °C a 70 °C. Inna jest przyczyna tych błędów i zakres w systemach cyfrowych, w których zależą one np. od konfiguracji przestrzennej transmisji sygnałów.

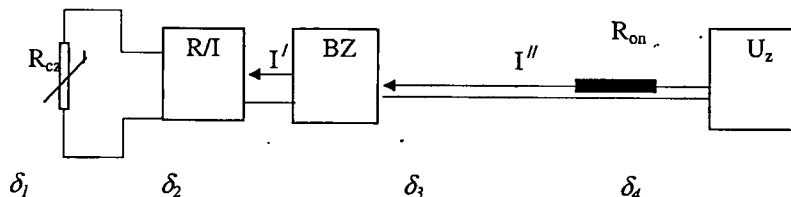
Błąd dodatkowy systemu monitorowania występuje w warunkach odniesienia innych niż założone. Rozważane są również błędy dodatkowe systemu, w ramach którego ujęto błędy dodatkowe czujnika, przetwarzania i odczytu. Błąd dodatkowy temperaturowy systemu jest spowodowany pracą elementów przetwarzających oraz błędem odczytu jednostki centralnej w warunkach temperaturowych różniących się od warunków odniesienia. Podawany jest często w wartościach procentowych zmian wielkości mierzonej w odniesieniu do przyrostu temperatury, np. na 10 °C.

Jednostki wielkości temperatury podawane są w niniejszej pracy w stopniach Celsjusza i tylko w nielicznych przypadkach w Kelwinach, zgodnie z układem jednostek SI oraz obowiązującym już prawem o miarach. Wynika to z interdyscyplinarnego charakteru niniejszej pracy i ułatwia komunikowanie np. z technologami przechowalnictwa rolniczego dla których stopnie Celsjusza są jeszcze dominujące ze względu na wyskalowanie dostępnych przyrządów pomiarowych.

Błąd dodatkowy od zmian napięcia zasilania spowodowany jest zmianami napięcia zasilania w zakresie: $-15 \% \div +10 \% U_{zn}$. Występuje obecnie tylko w niektórych obiektach poza miejskich, położonych w dużych odległościach od rozdzielni energetycznych, ale nie można go pominąć ze względu na występujące duże obciążenia urządzeniami technologicznymi. Błąd dodatkowy od długości sieci pomiarowej zależy od rodzaju przesyłu sygnałów analogowych lub cyfrowych. Występują również błędy dodatkowe spowodowane oddziaływaniem obcych pól elektromagnetycznych. Wprowadzając urządzenia pomiarowe wchodzące w skład systemów monitorowania muszą spełniać wymagania norm kompatybilności elektromagnetycznej [138], to jednak, jak wynika z ostatnich badań obiektowych, nagromadzenie nadajników telefonii komórkowej na dachach elewatorów było przyczyną wielu trudności w funkcjonowaniu tych systemów. Dlatego ten błąd dodatkowy powinien być uwzględniony, podobnie jak błąd dodatkowy w sieci łączącej jednostkę centralną z czujnikami, rozważanej jako linia długa z narastającą pojemnością i indukcyjnością. Oddziaływania magnetyczne mogą być tłumione, ale również wzmacniane powodując zmiany wartości pomiarowej. Dodatkowe błędy mogą być spowodowane również występowaniem przepięć i przetężeń sieciowych, które w linii długiej o dużych pojemnościach własnych mogą się dodawać do pozostałych błędów.

9.2 Dokładność systemów monitorowania z sygnałem analogowym

W iskrobezpiecznych systemach monitorowania, w technice analogowej z rezystancyjnymi czujnikami temperatury, stosowana jest metoda pomiarowa polegająca na przekształceniu sygnału rezystancyjnego z czujnika R_{cz} np. Pt 100 na sygnał standardowy 4-20 mA w bloku R/I, a następnie poprzez bariery Zenera BZ, przesył tego sygnału na dużą odległość do członu z separacją i zasilaniem U_z oraz z odczytem wartości mierzonych na rezystancji R_{on} [11,12]. Mimo że odczyt temperatury jest wykonany w technice cyfrowej, ze względu na analogowy przesył sygnału, system monitorowania nazywany jest w niniejszym opracowaniu systemem analogowym. Można go sprowadzić do schematu blokowego przedstawionego na rys. 73.



Rys. 73. Schemat blokowy toru iskrobezpiecznego w dwuprzewodowym standardzie prądowym 4 - 20 mA

Matematyczny model rozważanego procesu pomiaru temperatury można przedstawić w następującej postaci:

$$T_w = f_1(T) \times f_2(R_{cz}) \times f_3(I') \times f_4(I'') \quad (1)$$

gdzie:

T_w – temperatura odczytywana z miernika o rezystancji R_{on} ,

T – temperatura mierzona,

- $f_1(T)$ – liniowy związek pomiędzy rezystancją czujnika $R(T)$ a temperaturą mierzoną,
- $f_2(R_{cz})$ – liniowy związek pomiędzy prądem wyjściowym I' przetwornika a rezystancją R_{cz} czujnika temperatury,
- $f_3(I')$ – liniowy związek pomiędzy prądem I'' przed barierą Zenera a prądem wyjściowym I' ,
- $f_4(I'')$ – liniowy związek pomiędzy temperaturą odczytaną T_w a prądem I''

Błąd pomiarowy składa się z następujących błędów:

- δ_1 błąd wynikający z klasy zastosowanego czujnika,
- δ_2 błąd charakterystyki statycznej przetwornika R/I ,
- δ_3 błąd wprowadzony przez układ separujący i barierę Zenera,
- δ_4 błąd członu wyjściowego z odczytem wartości mierzonych.

Oszacowanie niedokładności pomiaru przeprowadza się w zgodzie z podejściem klasycznym błędów pomiarowych oraz przez określenie niepewności pomiaru [148].

Wypadkowy błąd średniokwadratowy dla iskrobezpiecznego analogowego toru pomiaru temperatury wyznaczony został przy założeniu braku korelacji pomiędzy poszczególnymi źródłami błędów $\delta_1 + \delta_4$. Przedstawiony jest następującą zależnością:

$$\delta_{T_t} = \sqrt{\left(\frac{\partial T_w f_1}{\partial f_1 T_w}\right)^2 \delta_1^2 + \left(\frac{\partial T_w f_2}{\partial f_2 T_w}\right)^2 \delta_2^2 + \left(\frac{\partial T_w f_3}{\partial f_3 T_w}\right)^2 \delta_3^2 + \left(\frac{\partial T_w f_4}{\partial f_4 T_w}\right)^2 \delta_4^2} \quad (2)$$

Odchylenie średniokwadratowe pomiaru pośredniego temperatury:

$$\delta_{T_t} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2} \quad (3)$$

Obliczenia przeprowadzono dla iskrobezpiecznego układu analogowo-cyfrowego, rys.73, przy założeniu, że błąd wnoszony przez sterownik cyfrowy jest integralną częścią błędów członu wyjściowego. Przesył sygnału jest w sieci analogowej, a także czujniki temperatury są analogowe, dlatego sklasyfikowano go do tego typu systemów iskrobezpiecznych.

Dla błędów względnych cząstkowych przyjęto następujące wartości [11, 12]:

$$\delta_1 = 1,6 \times 10^{-3}$$

$$\delta_2 = 3 \times 10^{-3}$$

$$\delta_3 = 3 \times 10^{-5}$$

$$\delta_4 = 3 \times 10^{-3}$$

Wynikają one z badań doświadczalnych przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych.

Dopuszczalna niedokładność pomiaru ΔT_i wynika z wyznaczonego wzorem (3):

$$\delta_{T_i} = 5,5 \times 10^{-3}$$

Dla względnego błędu średniokwadratowego δ_{T_i} i dla zakresu pomiarowego od -120°C do $+120^\circ\text{C}$ błąd bezwzględny przyjmuje wartość:

$$\Delta T_i = \pm 1,32^\circ\text{C}$$

Oszacowania niedokładności pomiaru temperatury dokonano również wyznaczając niepewność pomiaru. Ze względu na znajomość tylko granicznych błędów względnych założono, a priori, prawo rozkładu prostokątnego wielkości mierzonej.

Miarą niepewności pomiaru jest niepewność standardowa będąca pierwiastkiem kwadratowym wariancji przyjętego rozkładu. Niepewność pomiaru można wyznaczyć przez względną złożoną niepewność standardową, którą w rozważanym przypadku można wyznaczyć z zależności:

$$u_c(T_w) = \frac{\delta_{T_i}}{\sqrt{3}} (T_{w2} - T_{w1}) \quad (4)$$

Podstawiając następujące wartości:

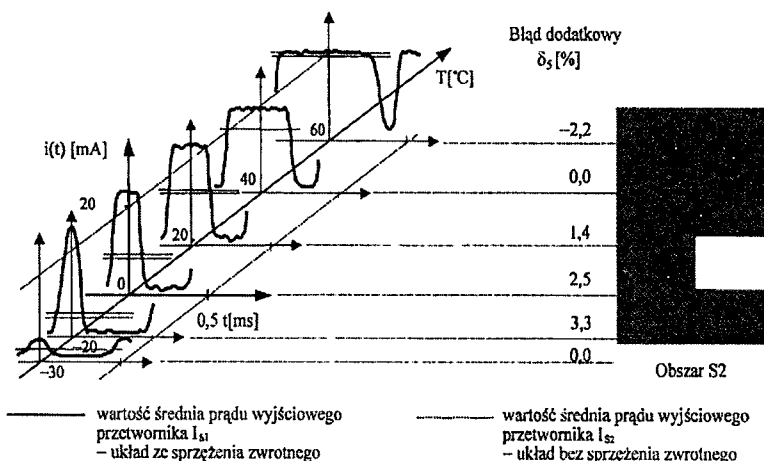
$$\delta_{T_i} = 5,5 \times 10^{-3}$$

$$\text{oraz} \quad T_{w1} = -120^\circ\text{C} \quad \text{i} \quad T_{w2} = 120^\circ\text{C}$$

$$\text{otrzymujemy} \quad u_c(T_w) = 0,76^\circ\text{C}$$

W porównaniu z wartością klasyczną błędu bezwzględnego $\Delta T_i = \pm 1,32^\circ\text{C}$ widać, że niepewność standardowa $u_c(T_w) = 0,76^\circ\text{C}$ przyjmuje wartość mniejszą.

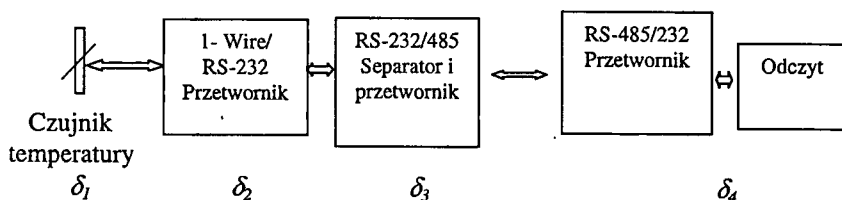
Z analizy błędów dodatkowych wynika, że występuje „błąd gruby” δ_5 , który jest spowodowany wystąpieniem składowej zmiennej o niezerowej wartości średniej. Jest on spowodowany pracą przetworników R/J i J/U oraz bariery Zenera w sieci z przetwarzaniem sygnału przesyłowego. Błąd ten zaobserwowano w klasycznym układzie, a także systemie monitorowania z sygnałem prądu stałego, ale jego wartość znacznie wzrosła w systemie iskrobezpiecznym. W zależności od obszarów temperaturowych S2 i S3 wzrost temperatury wywołuje niekorzystne zmiany w przebiegu zakłócającym. Ich wartość znacznie wzrasta po przekroczeniu 40°C , co ma istotne znaczenie na niedokładność metody pomiarowej, ponieważ w tym obszarze wymagana jest najwyższa dokładność pomiarowa w technologii przechowywania zbóż. Dlatego wprowadza się dodatkową filtrację przebiegu pomiarowego. Wpływa ona na czas odpowiedzi systemu pomiarowego. Ze względu na bardzo duże stałe czasowe masy zboża wzrost inercji pomiarowej może być pomijalny. Inaczej przedstawia się proces w układach automatycznej regulacji i dla magazynów małych, tzw. magazynów płaskich. Czas odpowiedzi systemu pomiarowego powinien być krótki, ponieważ stosowane są tutaj systemy automatycznej regulacji, a wartość tego czasu ma bezpośredni wpływ na jakość regulacji.



Rys. 74. Przykład zmian w przebiegu niepożądanej składowej zmiennej w funkcji mierzonej temperatury dla iskrobezpiecznego systemu monitorowania z analogowym sygnałem prądowym. S2, S3 – obszary temperaturowe [11]

9.3 Dokładność systemów monitorowania z magistralą interfejsu RS

Rozważania dotyczą iskrobezpiecznych systemów monitorowania z magistralą RS oraz z czujnikami o wyjściu cyfrowym, rozdział.7. System ten dalej nazywany jest systemem cyfrowym. Schemat blokowy jest przedstawiony na rys.75.



Rys.75. Schemat blokowy systemu z interfejsem RS-485 i z czujnikami z wyjściem cyfrowym na sieć „1-Wire”

Z obliczeń metodą klasyczną błąd pomiarowy, w tym przypadku składa się z następujących błędów składowych:

- δ_1 błąd wynikający z klasy zastosowanego czujnika,
- δ_2 błąd wynikający z przekształcenia sygnału z magistrali “1 Wire system” na RS-232,
- δ_3 błąd przetwarzania RS-232 na RS-485 i odwrotnie w technice iskrobezpiecznej z oddzieleniem galwanicznym wprowadzony przez specjalistyczne separatory,
- δ_4 błąd odczytu.

Zgodnie z kartą katalogową, czujniki temperatury z wyjściem cyfrowym, tabela 6, str. 48, przeznaczone są do pracy w temperaturze od -55°C do 125°C . Dokładność czujników w zakresie temperatur od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$ wynosi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

W systemie monitorowania zasadniczy błąd wywołany jest dokładnością tych czujników, inne błędy mają niskie wartości. Podczas badań eksploatacyjnych zaobserwowano wystąpienie "błędu grubego" spowodowanego krótkotrwałymi przepięciami łączeniowymi w sieci zasilającej. Pojawiały się krótkotrwałe zmienione wartości wielkości mierzonych sięgających nawet 50 % wartości rzeczywistych. Obecnie błąd ten został programowo wyeliminowany i nie wpływa na dokładność pomiarów. Program komputerowy jest tak zmodyfikowany, aby dopiero po trzech przeprowadzonych cyklach pomiarowych wyświetlony został wynik pomiaru, i dlatego użytkownik nie widzi wartości nieprawdziwych.

Jeśli któryś z pomiarów różni się będzie więcej niż $\pm 1^{\circ}\text{C}$ od dwóch pozostałych w ciągu 3 s całkowitego cyklu dla trzech pomiarów, to wówczas ten wynik zostanie odrzucony.

Do obliczeń przyjęto następujące wartości błędów cząstkowych wynikających z badań:

$$\delta_1 5,3 \times 10^{-3}$$

$$\delta_2 1,0 \times 10^{-5}$$

$$\delta_3 1,0 \times 10^{-5}$$

$$\delta_4 2,0 \times 10^{-5}$$

$$T_{w1} = -10^{\circ}\text{C}$$

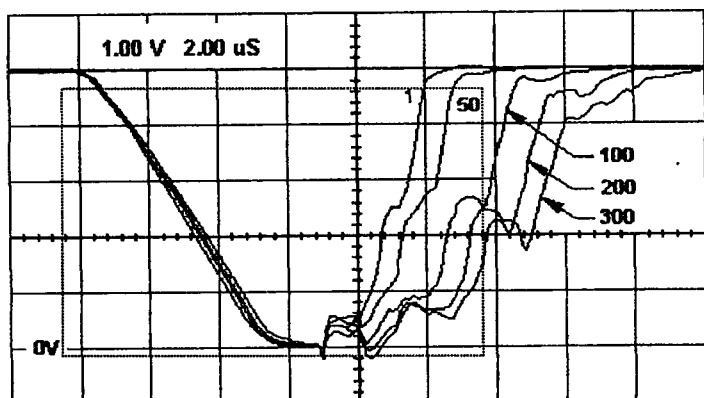
$$T_{w2} = +85^{\circ}\text{C}$$

Wartość błędu względnego średniokwadratowego wynosi: $\delta_T = 5,6 \times 10^{-3}$

Błąd bezwzględny wynosi: $\Delta T_i = \pm 0,57^{\circ}\text{C}$

Niepewność pomiaru zgodnie z wzorem (4) wynosi: $u_c(T_w) = 0,31^{\circ}\text{C}$ i podobnie jest mniejsza od ΔT_i jak w obliczeniach dla systemu monitorowania wykonanych w technice analogowej. Dokładność jest tu wyższa niż w szerzej jeszcze stosowanych systemach z czujnikami rezystancyjnymi i przesyłem sygnałów analogowych.

Systemy monitorowania z czujnikami temperatury z wyjściem cyfrowym i z wykorzystaniem sieci „1 – Wire” posiadają ograniczenia, które również wpływają na ich właściwości metrologiczne. Czujniki temperatury są indywidualnie adresowane. Sygnał aktywujący czujnik lub grupę czujników w sondzie wieloczułnikowej wysyłany jest programowo przez komputer. Z czujników w kierunku do komputera przekazywany jest następnie sygnał danych temperaturowych i dalej analizowany. Transmisja dwukierunkowa wymaga zastosowania w systemach monitorowania odpowiedniej aparatury iskrobezpiecznej, takiej jak separatory, zasilacze itp. Błąd transmisji z tego powodu nie wzrasta i można go pominąć, podobnie jak błąd transmisji z interfejsem RS-485 (422). Natomiast transmisja po sieci „1 – Wire” stanowi poważny problem, ponieważ może spowodować zniekształcenie sygnału cyfrowego, a nawet jego zanik. Przyczyną jest pojemność własna sieci transmisyjnej między czujnikiem a przetwornikiem „1-Wire”/ RS-232. Pojemność ta zwiększa się wraz z odległością w [m], powodując zniekształcenie przebiegu sygnału transmisyjnego pokazanego na rys. 76.



Rys. 76. Przesunięcie czasowe przebiegu cyfrowego w transmisji „1-Wire” dla kilku odległości w [m] między czujnikiem a przetwornikiem „1-Wire”/ RS-232

Dla odległości ponad 300 m może nastąpić zanik transmisji i przerwa w pracy całego systemu monitorowania. Dlatego w projektach sieci „1-Wire” stosuje się linie transmisyjne o bardzo niskiej pojemności. Stosuje się również odłączniki elektroniczne (couplers – ang.), sterowane programowo przez komputer, których zadanie polega na zmniejszeniu pojemności sieci przez odcięcie części linii aktualnie niewykorzystywanych w bieżących pomiarach lub w aktualnie realizowanym cyklu pomiarowym. Uogólnienie tych ograniczeń pojemnościowych jest trudne, ponieważ zależy ono od konfiguracji przestrzennej systemu pomiarowego, liczby czujników itp. W praktyce wymaga się przeprowadzenia indywidualnych badań obiektowych.

Podsumowanie i wnioski

Z analizy błędów i badań weryfikacyjnych dotyczących dokładności pomiarów temperatury w iskrobezpiecznych systemach monitorowania wynika:

- * Na dokładność iskrobezpiecznych systemów monitorowania mają wpływ wyszczególnione błędy pomiarowe zwiększone o błędy barier Zenera i separatorów. Są one wyższe niż w systemach monitorowania przeznaczonych do pomieszczeń bez zagrożeń wybuchowych.
- * Złożona *niepewność* standardowa jest mniejsza w porównaniu z klasycznym oszacowaniem błędu bezwzględnego dla systemu analogowego monitorowania i znacznie mniejsza dla systemów cyfrowych monitorowania.
- * Przyczyną „grubych” błędów w analogowych iskrobezpiecznych systemach monitorowania jest generowanie składowej zmiennej w sieci przesyłowej. W systemach iskrobezpiecznych cyfrowych błędy te spowodowane są pojemnością i indukcyjnością magistrali RS i zakłóceniami łączeniowymi, wpływem pól elektromagnetycznych itp. Wartości tych błędów można znacznie zredukować już na etapie projektowania systemu np. zwiększając *czas odpowiedzi*. Następnie można je zweryfikować obiektowymi badaniami *odtwarzalności wyników pomiaru*.

W przedziale temperatur 40 ± 60 °C odczyt temperatury, dla systemów analogowych, obarczony może być dużo większym „grubym” błędem niż błędem granicznym. Dla technologów przechowalnictwa jest to niedopuszczalne, ponieważ, w tym przedziale temperatur, może nastąpić przekroczenie temperatur od których zależy wzrost strat jakościowych.

9.4 Zakłócenia elektryczne w sieciach instalacyjnych

Systemy pomiarowe stosowane w elewatorach zbożowych zainstalowane są w większości w starych – kilkudziesięcioletnich obiektach. Magazyny te były wcześniej projektowane bez systemów monitorowania, dlatego teraz powstają, wcześniej nie przewidywane, zagrożenia przepięciowe, przetężeniowe i inne.

Zapewnienie prawidłowości pracy systemów pomiarowych wymaga często pokonania wielu problemów. Z doświadczeń obiektowych wynika, że dobre efekty pracy systemów pomiarowych osiągnięto w kilku przypadkach dopiero po wymianie całej instalacji elektrycznej obiektu wraz z transformatorem zasilającym, dlatego prowadzone są badania zakłóceń w elewatorach przeznaczonych do modernizacji i zabudowy systemu pomiarowego. Ponieważ są to jedne z pierwszych badań tego typu wykonywanych w kraju, wyniki mogą być istotne dla projektantów systemów monitorowania w elewatorach zbożowych.

□ Rodzaje zakłóceń

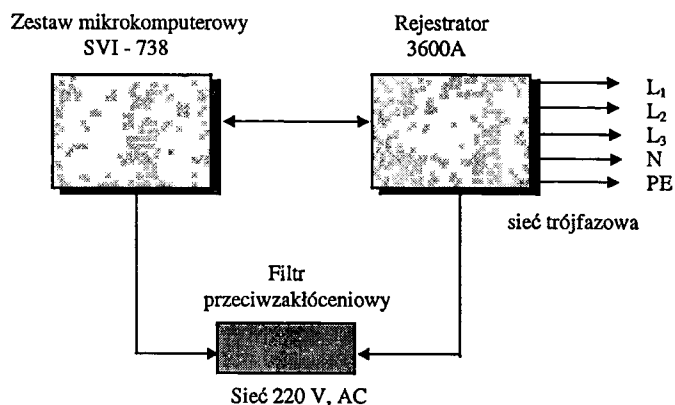
Zakłócenia, które powstają w pracy systemów pomiarowych w obiektach magazynowych, są następujące:

- * zakłócenia elektryczne sieciowe,
- * zakłócenia mechaniczne,
- * zakłócenia wywoływane przez obsługę,
- * zakłócenia wywoływane przez gryzonie.

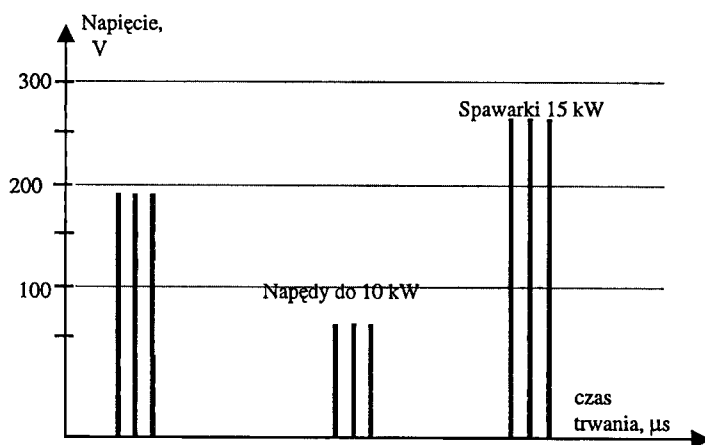
Pierwszy rodzaj zakłóceń oddziałujący na aparaturę kontrolno-pomiarową jest spowodowany przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi w elektrycznych obwodach zasilających. Duża liczba napędów elektrycznych wyposażonych w silniki elektryczne o mocy rzędu 30 kW i więcej podczas rozruchu, chwilowych przeciążeń i wyłączeń generuje w sieci zasilającej przepięcia i przetężenia, które mogą wpływać ujemnie na inne podłączone do sieci urządzenia, w tym szczególnie czułe urządzenia elektroniczne impulsowe (pomiarowo-regulacyjne). Napędy elektryczne stosowane są we wszystkich urządzeniach technologicznych, w tym w urządzeniach transportowych. Pracują one okresowo, w dowolnym czasie, dlatego przyczyn zakłóceń nie można wyeliminować, należy jednak przewidywać odpowiednią odporność aparatury na działanie zakłóceń.

□ Wyniki badań

Badania prowadzone na obiekcie rzeczywistym miały na celu określenie wielkości występujących w magazynach przepięć łączeniowych. Przepięcia w sieci energetycznej trójfazowej L_1 , L_2 , L_3 , N, PE rejestrowano na specjalistycznym stanowisku komputerowym PIAP, rys. 77. W skład stanowiska wchodzi zestaw komputerowy do wykrywania chwilowych przepięć sieciowych oraz rejestrator ultra-szybkich przebiegów. Okres badań wynosił ok. 1 tygodnia, w czasie którego załączano poszczególne napędy oddzielnie i grupowo symulując najgorsze warunki pracy. Włączano również kolejno dodatkowe przenośne urządzenia, które mogą być stosowane okresowo w magazynie, takie jak spawarki, małe betoniarki itp. Badania były prowadzone w związku ze zdarzającymi się przypadkami złej pracy nowo zainstalowanych robotów przemysłowych stosowanych w pracach transportowych. Wyniki badań są przedstawione na rys. 78 i w tablicy 16.



Rys. 77. Stanowisko PIAP do określania przepięć łączeniowych



Rys. 78. Wartości zakłóceń w elektrycznej sieci zasilającej elewatora zbożowego w stosunku do sinusoidy podstawowej 50 Hz, wyniki trzech pomiarów, wartości czasu trwania podane są w tablicy 16, wg badań autora

Tablica 16. Wartości przepięć łączeniowych, przewyższających amplitudę pierwszej harmonicznej i czas ich trwania w elewatorze zbożowym (wg badań autora)

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

□ Metody eliminacji zakłóceń

- * Wartości przepięć określono dla jednego konkretnego obiektu, trudno więc je uogólniać. Można jednak założyć, że w tym obiekcie aparatura będzie pracować poprawnie, jeśli przepięcia o wartości amplitudy 1,5 kV nie będą powodowały zakłóceń w jej pracy. Do obniżenia przepięć, w większości, podobnych aplikacji, wystarczyło zastosowanie dławików oraz baterii kondensatorowej. W nowszych systemach zastosowano dwustopniowe układy ochronne z ogranicznikami gazowymi i półprzewodnikowymi ogranicznikami przepięciowymi.
- * Jeśli pomiary wykazały, że wartość przepięć jest jeszcze za wysoka, przeprowadzono dodatkowy eksperyment. Przyniósł on dobre rezultaty. Zredukowano przepięcia wprowadzając bardzo dokładne uziemienia i zerowanie. Radykalne obniżenie nastąpiło również w momencie zastosowania innego transformatora zasilającego. Po jego zamianie na dużo większy, wartość przepięć obniżyła się o połowę.
- * Zakłócenia mechaniczne spowodowane są np. drganiami i wibracją konstrukcji budowlanej. Wywołane są one przenoszeniem drgań z urządzeń technologicznych. Tam, gdzie są jeszcze nastawiane wartości zadane za pomocą potencjometrów, należy szczególnie uważnie je instalować. W najnowszych systemach pomiarowych, ze strojeniem komputerowym, ten przypadek nie występował.
- * Przyczyną wielu awarii w pracy było również wysokie zapylenie i nieprzestrzeganie przez obsługę zaleceń użytkownika w tych warunkach, kiedy np. mysz komputera poprawnie pracowała tylko ok. 1 miesiąca, a po tym okresie nadawała się do remontu ze względu na zanieczyszczenie styków.
- * Szczególnie trudne jest do wykrycia przerwanie połączeń kablowych przez gryzonie. Na długich odcinkach instalacja elektryczna jest prowadzona w rurkach pancernych, i tu nie ma z nią problemu. Znacznie gorzej jest na przepustach kablowych w szafkach sterowniczych, w których temperatura jest wyższa niż otoczenia i gryzonie chcą tam dotrzeć. Można zastosować odpowiednie materiały uszczelniające przepusty z włóknem szklanym lub, tzw. elektroniczne odstraszacze gryzoni. Aparatura taka, pracująca na zasadzie ultradźwiękowej, opracowana w PIAP, jest obecnie stosowana w wielu magazynach. Problem z gryzoniami i innymi zwierzętami, owadami itp. nie jest banalny, ponieważ wprowadzają w przechowalnictwie innego rodzaju jeszcze straty, których wpływ na intensywność procesów metabolicznych jest wyraźny i trudny do wyeliminowania. Zakłócenia elektryczne powodowały krótkotrwałe zmiany wartości mierzonych. W systemach cyfrowych monitorowania zostały obecnie programowo odrzucone. Komputer mierzy wartość średnią z kilkunastu pomiarów, zanim ją wyświetli na monitorze. Wartości wielokrotnie wyższe od średniej spowodowanej np. przepięciami są automatycznie odrzucane.

10. UZASADNIENIE EKONOMICZNE ZASTOSOWANIA SYSTEMÓW MONITOROWANIA

Zastosowanie systemów monitorowania w elewatorach zbożowych jest uzasadnione koniecznością zmniejszenia strat jakościowych i ilościowych w okresie składowania ziarna oraz obniżeniem zagrożenia wybuchowego. Efektywność ekonomiczna celowości wprowadzania tych systemów powinna być uzasadniona nakładami poniesionymi na zakup i zamontowanie aparatury pomiarowej w stosunku do osiągniętego zysku odwzorowującego poprawę jakości ziarna lub zmniejszenie technologicznych kosztów magazynowania. Na podstawie dotychczasowych badań całkowity koszt aparatury był porównywalny z kosztem wykonania instalacji sond pomiarowych. W pierwszych systemach monitorowania stosowano sondy o $\phi = 25$ mm. Strop, w którym zawieszono były głowice sond, wymagał często wzmocnienia uwzględniającego rzeczywiste ich obciążenie. Wiąże się to więc z koniecznością poniesienia poważnych nakładów finansowych. Wprowadzając obecnie stosowane są sondy o $\phi = 16$ mm o znacznie mniejszym obciążeniu, ale nawet w tym przypadku nie wszystkie stropy mają odpowiednią wytrzymałość i stąd konieczność wykonania dodatkowych ekspertyz i wykonania prac przygotowawczych do instalacji systemu. Na zakończenie tego rozdziału przedstawiono również propozycję nowych, optymalnych systemów monitorowania, które wg aktualnego stanu wiedzy, powinny całkowicie spełnić oczekiwania technologów przechowalnictwa rolniczego, nie powodując istotnego wzrostu nakładów finansowych.

10.1. Amortyzacja nakładów na systemy monitorowania z uwzględnieniem kosztów ich wytwarzania

W elewatorach, w których nie ma jeszcze zainstalowanych systemów monitorowania temperatury, dokonuje się okresowo profilaktycznych przerzutów ziarna z komory do komory. Nawet jeśli elewator ma urządzenia do aktywnej wentylacji, to bez pomiaru temperatury i wilgotności nie można określić potrzebnego czasu wietrzenia powietrzem atmosferycznym. Przerzuty zboża oraz aktywna wentylacja są procesami technologicznymi wysoce energochłonnymi, dlatego powinny być stosowane z pełnym uzasadnieniem otrzymanymi wynikami pomiarów temperatury. Niestosowanie tych zasad powoduje straty w zużyciu energii elektrycznej, gazu, paliw, itp., a także w magazynowanym produkcie.

Po wprowadzeniu systemów monitorowania poprawia się kontrola warunków magazynowania. Można również składować ziarno o większej wilgotności niż jest obecnie dopuszczane w wymaganiach technologii przechowywania. Według szacunku Centralnego Laboratorium-CLTPiPZ, po wprowadzeniu systemów monitorowania dopuszcza się składowanie ziarna o wilgotności kilka procent większej niż to wynika z aktualnie obowiązujących technologii.

Obliczenia efektywności przeprowadzono dla bardzo ostrożnego zwiększenia wilgotności składowanego ziarna tylko o 1% [51]. Wykonano je w 1995 r. (z udziałem autora) i zaktualizowano w 1999 r. (przez autora). Obecnie zmieniły się wartości kosztów energii i paliw w większym stopniu niż relacje między nimi. Wynik obliczeń ma jednak wartość pogładową. Oszczędność wynikała z magazynowania ziarna o wilgotności większej o 1%. Nastąpiło zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i zużycia oleju napędowego ze względu na mniejszą liczbę koniecznych zabiegów technologicznych. Obliczenia przeprowadzono na podstawie wyników badań wykonanych w jednym z typowych elewatorów krajowych.

Przyjęto następujące założenia cenowe:

* Cena 1 t zboża:	520 zł
* Liczba elewatorów, w których należałoby wprowadzić systemy monitorowania:	120
* Średnia ładowność elewatora:	30 000 t
* Ilość zboża przechowywanego przez elewatory w skali roku:	3 600 000 t
* Cena 1 kWh:	0,3 zł
* Cena 1 litra oleju napędowego:	2,0 zł

- 1) Ubytek naturalny ziarna zbóż (rozkurcz) wynikający z profilaktycznego przerzutu wynosi ok. 0,014 % masy składowanego ziarna, co przy średnio 3 technologicznych przerzutach wynosi:

$$3 \times 0,014 \% = 0,042 \%$$

$$3\,600\,000\text{ t} \times 0,042 \times 10^{-2} = 1\,512\text{ t}$$

w przeliczeniu na zł:

$$1\,512\text{ t} \times 520\text{ zł/t} = 786\,240\text{ zł.}$$

- 2) Zwiększenie ilości zanieczyszczeń w ziarnie w wyniku przerzutów szacowane jest procentowo dla 3 technologicznych przerzutów:

$$0,34 \% \times 3\text{ przerzuty} = 1,02 \%$$

$$3\,600\,000\text{ t} \times 1,02 \times 10^{-2} = 36\,720\text{ t}$$

w przeliczeniu na zł:

$$36\,720\text{ t} \times 520\text{ zł/t} = 19\,094\,400\text{ zł.}$$

- 3) Możliwość podwyższenia wilgotności składowanego ziarna o 1 %. Oszczędności wynikają z mniejszego zużycia oleju napędowego szacowanego na 1,8 l/t. (średnio zużywa się 11 litrów oleju napędowego na 1 t wysuszonego ziarna o wilgotności mniejszej o 6 % np. z początkowej wartości wilgotności 20 % do końcowej 14 %).

Oszczędności zużycia oleju napędowego przy zaniechaniu osuszania ziarna o 1 % wilgotności wynoszą:

$$3\,600\,000\text{ t} \times 1,8\text{ l/t} = 6\,480\,000\text{ l}$$

w przeliczeniu na zł:

$$6\,480\,000\text{ l} \times 2,0\text{ zł/l} = 12\,960\,000\text{ zł}$$

- 4) Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej na przerzuty ziarna wewnątrz magazynu (przy założeniu 2,148 kWh/t i dla wymaganych 3 technologicznych przerzutów). Wartość ta podana jest na podstawie wyników badań CLTPiPZ):

$$3\,600\,000\text{ t} \times 2,148\text{ kWh/t} \times 3 = 23\,198\,400\text{ kWh}$$

w przeliczeniu na zł:

$$23\,198\,400\text{ kWh} \times 0,3\text{ zł/kWh} = 6\,959\,520\text{ zł.}$$

5) Łączne roczne efekty ekonomiczne w zł dla założonej liczby 120 elewatorów (wg punktów 1+2+3+4) wynoszą:

$$786\,240\text{ zł} + 19\,094\,400\text{ zł} + 12\,960\,000\text{ zł} + 6\,959\,520\text{ zł} = 39\,800\,260\text{ zł}.$$

6) Roczny zysk zł w przeliczeniu na jeden elewator wynosi:

$$39\,800\,260\text{ zł} : 120 = 331\,669\text{ zł}.$$

Zysk jest wysoki, mimo że jest liczony bardzo ostrożnie i wynika z dopuszczenia do przechowywania ziarna o wilgotności większej tylko o 1 %. W rzeczywistości zysk może być znacznie większy uwzględniając obniżenie zagrożenia wybuchowego i skutki ewentualnej eksplozji. Zwrot kosztów na zakup systemu monitorowania oraz jego instalacji, szacowanych na ok. 300 000 zł, powinien nastąpić w ciągu 1,5 roku.

10.2 Koszty wytwarzania sond pomiarowych

Elastyczne sondy temperaturowe wykonywane są do konkretnego zastosowania w elewatorach zbożowych. Pod względem elektrycznym ich konstrukcja nie przedstawia zasadniczych problemów. Wytrzymałość mechaniczna sond jest wielokrotnie wyższa niż produkowane o tej samej średnicy kable energetyczne. Problemy techniczne ich wytwarzania zostały już rozwiązane. Pozostaje zagadnienie minimalizacji kosztów produkcji, a następnie eksploatacji sond. Można je rozpatrywać analogicznie jak przy analizie projektowania elementów maszynowych i koncepcji metody *Target costing* [24].

Niezawodność sond może być opisywana przez trwałość zewnętrznego pancerza sondy. Zależy ona również od odpowiedniej konstrukcji nośnej, do której zamontowana jest sonda. W koszty eksploatacji sond wchodzi koszt wykonania konstrukcji nośnej oraz jej konserwacji. Zależą one od okresu budowy i eksploatacji magazynu. W starych elewatorach koszty te są wysokie, bo wymagają odpowiednich wzmocnień stropowych nad komorami. W nowszych wytrzymałość stropu jest większa, ponieważ inwestorzy na etapie projektowania magazynu przewidywali montaż sond pomiaru temperatury i innych czujników systemu monitorowania, np. czujników pomiaru wysokości, wilgotności itp.

W zależności od planowanej liczby punktów pomiarowych oraz rodzaju czujników temperatury zmienia się koszt aparatury systemu monitorowania, rys. 79. Dla systemów pomiarowych, w których zastosowano mniej niż 32 punkty pomiarowe z czujnikami analogowymi typu Pt 100 oraz Ni 100 lub Cu 100, koszt aparatury jest niższy niż z czujnikami cyfrowymi. Dla systemów monitorowania składających się z dużej liczby czujników już powyżej 50 koszt jest mniejszy niż systemu z czujnikami analogowymi. Wykres ten powstał przed kilkunastu laty, ale zachował swoją aktualność. Od czasu jego sporządzenia zmalały jeszcze koszty czujników z wyjściem cyfrowym, natomiast koszt czujników metalowych nie uległ wyraźnym zmianom.

W celu porównania kosztów sond temperatury wyposażonych w czujniki różnych typów wybrano sondę 6 czujnikową. Orientacyjny, całkowity koszt sondy składa się z następujących kosztów częściowych wyrażonych w procentach całkowitego kosztu nominalnego:

1. Pancerza 40 %
2. Głowicy 20 %
3. Końcówki 10 %
4. Czujników wraz z okablowaniem 30 %

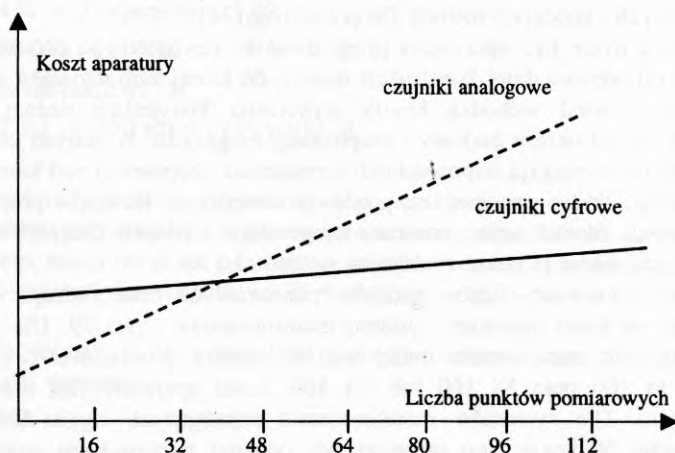
Koszt sondy z czujnikami analogowymi, rys. 80. (1), wynosi 100 % . Koszt tej samej sondy z czujnikami cyfrowymi LSI wynosi 70 % sondy (1) ze względu na niższy koszt czujników.

Koszt sondy z czujnikami inteligentnymi jest jeszcze niższy i wynosi 80%. Wynika on z okablowania czujników, który z liczby kilkunastu sprowadza się do trzech ponieważ czujniki, indywidualnie adresowane, połączone są równolegle. Zmniejsza się pracochłonność wytworzenia sondy. Sondy oznaczone na rys. 80, 1 i 2 mają podobną wytrzymałość mechaniczną, która zgodnie z obowiązującą wówczas normą wynosiła $30,0 \text{ kN} + 40 \text{ kN}$. Obecnie wymagania normatywne wzrosły i wynoszą 50 kN, dlatego dla sondy oznaczonej na rysunku. przez 3 i wynoszące 100 % są wyższe o 40 %.

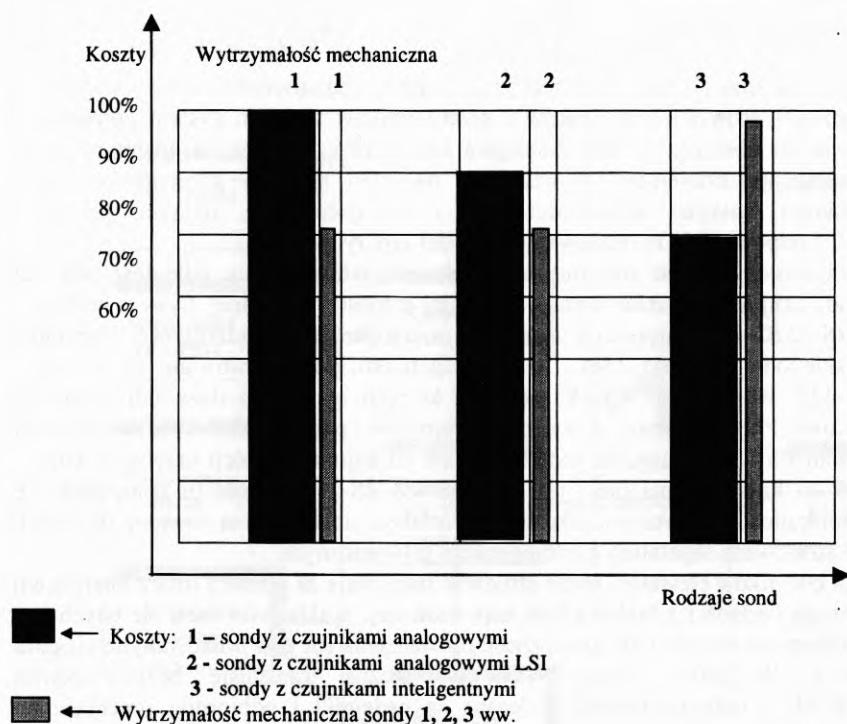
Koszty głowicy i końcówki dolnej nie zmieniają się niezależnie od typu sondy. Natomiast wyraźnie zmienia się koszt pancerza, który ze względu na inną technologię wytwarzania i zastosowania drutów o wysokiej wytrzymałości mechanicznej uległ zwiększeniu. Ogólnie koszt najnowszych sond wzrósł zaledwie o jakieś 20% w stosunku do sond z czujnikami analogowymi: metalowymi, półprzewodnikowymi (diody, tranzystory i termistory).

Prowadzone są obecnie prace nad modernizacją głowic, polegającą na rozbudowanie głowic o bezpieczniki mechaniczne. Działanie ich polega na zerwaniu pancerza sondy i odłączenia go od głowicy po przekroczeniu maksymalnej siły dopuszczalnej do wytrzymałości stropu.

Sonda ulega wprawdzie uszkodzeniu,, ale strop nie ulega zniszczeniu. Można więc nie wzmacniać stropu a zamiast tej pracy zastosować bezpiecznik, którego koszt jest niewspółmiernie niższy od kosztu przebudowy stropu.



Rys. 79. Koszty aparatury systemu monitorowania w zależności od liczby sond pomiarowych [117].



Rys. 80. Koszty wytwarzania sond i ich wytrzymałość mechaniczna

10.3 Optymalizacja doboru układów i systemów pomiarowych w aspekcie ekonomicznym

Układy pomiarowe i systemy monitorowania zostały dotychczas przedstawione jako realizujące tylko pomiar temperatury ziarna. W elewatorach prowadzone są również inne pomiary za pomocą odrębnej aparatury. Pomiary te są także istotne dla realizacji założonej technologii przechowywania, chociaż ich poziom trudności jest wyższy niż pomiar tylko temperatury. Rysuje się propozycja scalenia wszystkich pomiarów w ramach jednego systemu monitorowania ze względu na spodziewane niższe koszty aparatury.

Prowadzone są np. pomiary wilgotności powietrza wewnątrz i na zewnątrz elewatora, a także wilgotności ziarna w koszu przyjęciowym i na poszczególnych taśmociągach. Również temperaturę mierzy się wewnątrz i na zewnątrz elewatora.

Stopień załadunku komór elewatora jest określany za pomocą wyłączników krańcowych umieszczonych w ich przestrzeni górnej (szczytowej). Sygnał od tych wyłączników jest przekazywany do sterowni elewatora. W elewatorach zagranicznych prowadzony jest również ciągły pomiar wysokości zasypu ziarna i przeliczany na stopień wypełnienia komory ziarnem.

Wykorzystuje się do tego celu czujniki i przetworniki bezstykowe działające na zasadzie laserowej lub podczerwieni. Intensywność procesów metabolicznych, które wywołują wzrost

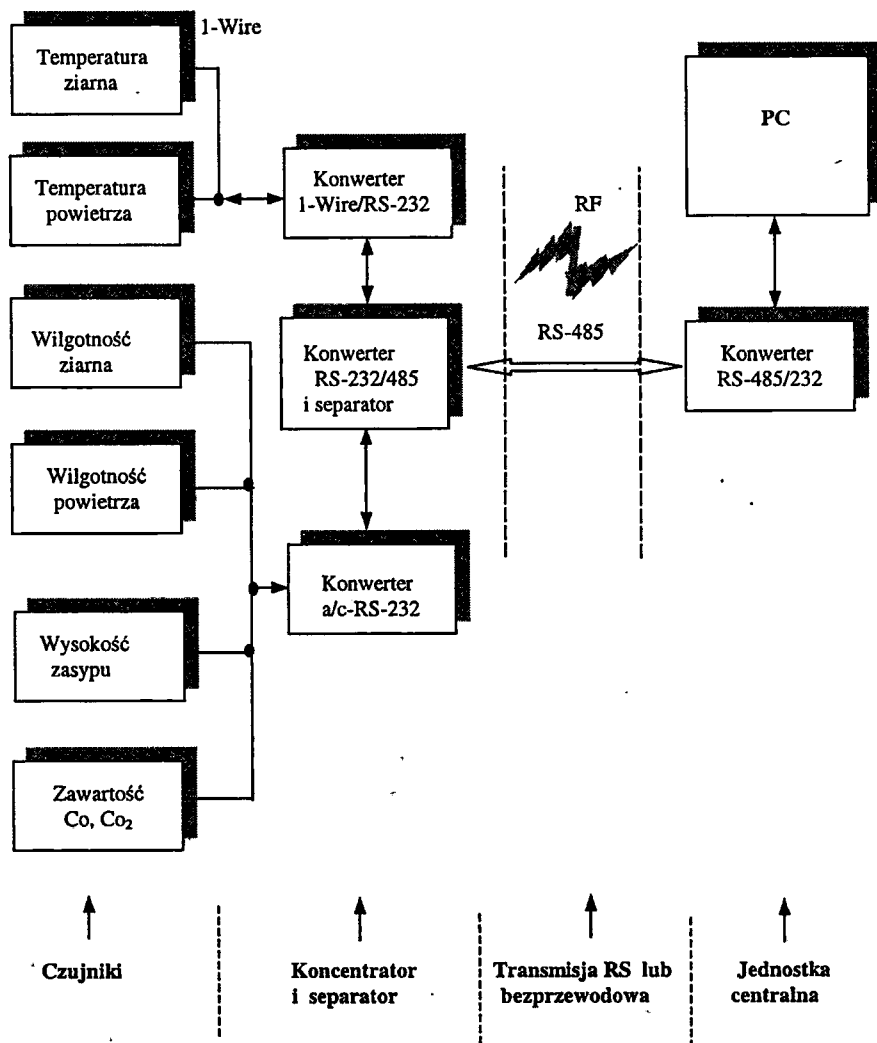
temperatury, określa się również przez przyrosty temperatury w określonym czasie, np. w ciągu doby lub tygodnia. W lepiej wyposażonych obiektach określa się ją również zmianą intensywności emitowania stężeń CO i CO₂, co wymaga wysoko-wyspecjalizowanej aparatury. Wymienione czujniki i przetworniki nie stanowiły dotychczas części składowej systemów monitorowania. Nowe podejście do systemów monitorowania w elewatorach polega na włączeniu wszystkich czujników i przetworników w jeden system pomiarowy, ponieważ ułatwia on obsługę, a także zmniejsza koszty przeznaczone na aparaturę. Zysk spowodowany jest np. zmniejszeniem nakładów na kilka układów komputerowych do pomiaru wysokości zasypu, wilgotności itp. i zastąpienie go jednym zestawem komputerowym z odpowiednio rozbudowanym interfejsem, rys. 81.

Kolejnym zagadnieniem jest transmisja sygnału przesyłowego, na odległość kilkuset metrów, od sond i czujników pomiarowych do odległej jednostki centralnej. System interfejsu szeregowego RS-232C jest najczęściej stosowanym standardem do szeregowej transmisji danych na bliskie odległości do 15m. Do większych odległości stosowane są interfejsy szeregowo RS-423, RS-422 lub RS-485 [87], w których osiągnięto dużą odporność na zakłócenia sieciowe. Przy założeniu, że wyjście z czujników i przetworników prowadzone jest linią z interfejsem RS-232, konieczne jest stosowanie co najmniej dwóch przetworników: z RS-232/RS-485 do linii transmisyjnej i z linii RS-485/RS-232 w pobliżu komputera. Ze względu na konieczność zapewnienia iskrobezpieczeństwa stosowane są również w liniach transmisyjnych atestowane separatory z oddzieleniem galwanicznym.

Konfiguracja budynków elewatora może utrudniać transmisję za pomocą linii z interfejsem RS 485. Występują trudności z budową linii napowietrznej, a układanie kabli ziemnych jest wysoce pracochłonne ze względu na konieczność prowadzenia ich pod brukowanymi ciągami komunikacyjnymi. W takiej sytuacji stosować można transmisję bezprzewodową dwukierunkową RF z radiomodemami. Zalecane są nadajniki i odbiorniki pracujące na częstotliwości ogólnodostępnej - 433,9 MHz. Koszt obu tych transmisji: przewodowej i bezprzewodowej, jest obecnie porównywalny. W przyszłości, koszt przesyłu radiowego może być znacznie niższy. Obecnie prowadzone są jeszcze badania doświadczalne z przesyłem radiowym, ukierunkowane na badania odporności na zakłócenia przepięciowe oraz określenie wpływu na dokładność pomiaru nadajników telefonii komórkowej. Nadajniki i przekładniki telefonii komórkowej montowane są na dachach elewatorów, ponieważ swoją wysokością górują one nad większością zabudowań w przylegającej okolicy i dlatego nie można wykluczyć ich wpływu na inne odbiorniki radiowe.

ATMOSFERA WYBUCHOWA

ATMOSFERA BEZPIECZNA



Rys. 81. Schemat blokowy nowego iskrobezpiecznego systemu monitorowania

11. PODSUMOWANIE WYNIKÓW PRACY

Praca ma na celu rozwiązanie zagadnień i problemów dotyczących projektowania iskrobezpiecznych systemów monitorowania i ich aplikacji w elewatorach zbożowych. Tematyka ta jest istotna dla gospodarki żywnościowej, ponieważ ok. 80% magazynów krajowych nie ma układów pomiarowych, a w pozostałych magazynach układy są przestarzałe i technicznie wyeksploatowane. Zgodnie z wymaganiami normatywnymi obowiązującymi w UE, magazyny zbożowe muszą posiadać systemy monitorowania, ze względu na niższe straty w przechowywaniu, lepszą jakość składowanego ziarna i mniejsze zagrożenia wybuchowe obiektów o wysokim zapyleniu. Dlatego należy już obecnie przystąpić do instalowania odpowiednich systemów monitorowania, ponieważ bezpośrednio wpływają na efektywność ekonomiczną magazynowania i ich bezpieczeństwo. Zainstalowanie systemów monitorowania, a także ich brak, może poważnie rzutować na polskie aspiracje unijne.

11.1 Ważniejsze rozwiązywane problemy

Współpraca ze znanymi specjalistami z dziedziny technologii przetwórstwa i przechowywania rolniczego przyczyniła się do przeprowadzenia analizy zjawisk termicznych w ziarnie zbóż oraz wpływu na intensywność procesów metabolicznych podczas ich magazynowania. Wykonano badania procesów zachodzących w ziarnie, które dotychczas nie były możliwe do realizacji ze względu na brak odpowiedniej aparatury i środków finansowych. Pozyskanie ich było możliwe dzięki przyznaniu autorowi przez KBN głównego wykonawstwa kilku projektów badawczych i celowych. Intensywność procesów metabolicznych, przedstawiona w niniejszej pracy za pomocą kilku wykresów, została wyznaczona za pomocą specjalistycznej aparatury, a także nowo opracowanej do tego celu. Można było stworzyć model zbiornika z ziarnem, w którym występuje pole termiczne i porównać je z wynikami badań na obiektach rzeczywistych. Po ich weryfikacji określono obszary o spodziewanym zagrożeniu wzrostem temperatury. Ponieważ rozwiązywane problemy wymagały wiedzy interdyscyplinarnej, więc przyczyniły się one do ustalenia wymagań metrologicznych akceptowanych przez szersze grono specjalistów. Identyfikację obiektu przeprowadzono za pomocą oryginalnych badań izotopowych przepływu powietrza stosowanego do chłodzenia. Określono właściwości metrologiczne zaproponowanych iskrobezpiecznych systemów monitorowania oraz ich struktury, a także wymagania i parametry układów regulacyjnych, które mogą współpracować z systemami pomiarowymi. Niektóre badania, których nie można było wykonywać w kraju, były realizowane przez autora we współdziałaniu ze specjalistami niemieckimi w Poczdamie, szwedzkimi w Upsali (JTI), a także rosyjskimi w Moskwie (WSI).

Utylitarnie wykorzystanie wyników pracy polegało na opracowaniu nowych, specyficznych elementów iskrobezpiecznego systemu monitorowania, a także współpracujących z nimi układów automatycznej regulacji. Na szczególne podkreślenie zasługuje nowa konstrukcja elastycznych sond pomiaru temperatury stosowana już w kilkunastu obiektach, a także wdrożona do produkcji seryjnej u trzech producentów krajowych na zasadzie umów licencyjnych. Badania wyprzedzające, które zapoczątkowane zostały w ramach projektów badawczych, polegały na opracowaniu optoelektronicznych czujników temperatury, przeznaczonych do sond elastycznych. Wyniki są obiecujące, ale wymagają dalszych badań w przyszłości. Znacznie lepsze rezultaty otrzymano wprowadzając do sond czujniki inteligentne, opracowane w Stanach Zjednoczonych. Ich producent udostępnił programy komputerowe, które ułatwiły opracowanie własnych programów do konkretnych obiektów.

Pierwsze systemy monitorowania z tymi czujnikami udało się już wdrożyć w trzech elewatorach. Brak jest dotychczas publikacji europejskich, które informują o podobnym, udanym zastosowaniu tych czujników w innych elewatorach. Wyniki dotychczasowych prac, kierowanych przez autora lub z jego dominującym udziałem, były prezentowane na wielu konferencjach krajowych i zagranicznych w ramach IMEKO i innych organizacji. Przedstawiono je również na dwóch konferencjach w Japonii, gdzie wywołały zainteresowanie i przyczyniły się do powierzenia autorowi kierowania sekcją ochrony środowiska na Kongresie IMEKO. Za opracowanie aparatury pomiarowej do magazynów rolniczych zostały przyznane zespołowi, z udziałem wiodącym autora, dwie nagrody resortowe.

11.2 Porównanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych

W niniejszej pracy przedstawiono układy pomiarowe temperatury ziarna zainstalowane w starszych, małych elewatorach i magazynach płaskich, a także współczesne, wieloparametrowe systemy monitorowania. Porównanie tych układów i systemów między sobą jest ryzykowne, ponieważ dotyczą innego poziomu technicznego wynikającego z ewolucji technicznej. Dlatego analizowano tylko systemy z magistralą przesyłową i z elastycznymi sondami temperatury, które pojawiły się w ostatnich 10 latach.

Zastosowano następujące kryteria, wg których oceniano systemy i zastosowane czujniki pomiarowe:

- Porównano liczbę parametrów systemu i ich dokładności.
- Porównano właściwości metrologiczne i wytrzymałości mechanicznej elastycznych sond temperatury.
- Porównano wymagania wynikające z zapobieganiu eksplozji przez system w elewatorach zbożowych.
- Określono realizację wymagań iskrobezpieczeństwa czujników-sond pomiarowych i pozostałych elementów systemu w atmosferze zagrażającej wybuchem.
- Określono rzeczywiste obciążenie statyczne i dynamiczne elastycznych sond oraz spełnienie założonych wymagań ze szczególnym uwzględnieniem wymagań KEM dla sond i systemu pomiarowego.
- Określono rzeczywiste wartości inercji temperaturowej sond i porównano z wymaganiami normatywnymi.
- Przeprowadzono ocenę wymagań środowiskowych w odniesieniu do sond i czujników pomiarowych.
- Przeprowadzono ocenę nowoczesności konstrukcji sond na podstawie zastosowanych czujników temperatury.
- Przeprowadzono ocenę odporności systemu i poszczególnych elementów na przepięcia łączeniowe i atmosferyczne.
- Przeprowadzono ocenę możliwości współpracy systemu monitorowania z UAR.
- Zrealizowano zadania informatyczne: przetwarzania, archiwizacji wyników pomiarowych itp.
- Uzyskano ocenę sond temperatury na podstawie przyznanych certyfikatów oraz przeprowadzonych badań, które były podstawą do ich wydania.
- Wykonano ocenę efektywności ekonomicznej zakupu sprzętu pomiarowego wchodzącego w skład systemu monitorowania i jego instalacji na obiektach rzeczywistych.

Na podstawie analizy realizacji ww. kryteriów można stwierdzić, że obecnie systemy krajowe, ale także i zagraniczne zainstalowane w kraju nie spełniają wszystkich założeń i wymagań. Wynika to z dostępności do odpowiednich publikacji oraz do możliwości realizacji ostatnio opublikowanych wymagań normatywnych np. Dyrektywy ATEX 100A [151] i norm zharmonizowanych oraz norm ISO-EN. Dlatego zadaniem pracy jest również określenie wymagań i możliwość ich spełnienia w warunkach krajowych. Nowe rozwiązania czujników temperatury, a zwłaszcza czujników inteligentnych w sondach, a także czujników optoelektronicznych wybiegają już w przyszłość i stanowią wynik prac teoretycznych i badań podstawowych objętych zakresem projektów badawczych. Wyniki tych prac były już przedmiotem publikacji krajowych i międzynarodowych.

11.3 Podsumowanie wyników poszczególnych rozdziałów

W rozdziałach 1 i 2 opisano obiekty przechowalnictwa zbóż, które mają lub powinny mieć układy pomiarowe. W nich powinno się zastosować systemy monitorowania i ewentualnie UAR. Zjawiska metaboliczne, które towarzyszą składowaniu produktów biologicznych, mogą oddziaływać ujemnie na jakość ziarna i okres jego składowania. Stwarzają również zagrożenie wybuchowe. Na podstawie dokumentów międzynarodowych, doświadczeń krajowych oraz badań własnych autora został scharakteryzowany aktualny stan wiedzy i konieczność prowadzenia dalszych prac rozwojowych. Zagadnienia te znajdują odbicie w dokumentach normatywnych. Analiza tych dokumentów przeprowadzona również w dalszych rozdziałach pracy wskazuje także na konieczność ich korekty i uściślenia.

W rozdziale 3 sformułowano cel i zakres rozprawy. W pracy przewiduje się rozpoznanie zjawisk termicznych występujących w procesie magazynowania ziarna zbóż w celu opracowania wybranych zasad projektowania systemów monitorowania temperatury i jego ważniejszych elementów. Praca nie jest vademecum projektanta, ale powinna dostarczyć informacji więcej niż obecnie jest znanych w wybranych obszarach projektowania. Spełniając te założenia, zaproponowano kilka etapów zawierających zagadnienia identyfikacji obiektu, doboru systemu monitorowania do założonych parametrów oraz określenia metodyki badań rozkładu pól temperaturowych w masie składowanego ziarna. Wymagania iskrobezpieczeństwa elastycznych sond temperatury, ich określenie i badania stanowią jeden z istotnych celów niniejszej rozprawy.

W rozdziale 4 dotyczącym analizy zjawisk termicznych w magazynowanym ziarnie przedstawiono przyczyny powstawania procesów metabolicznych i ich wpływ na wytwarzanie energii cieplnej. Przytoczono regułę Vant'Hoffa, według której w określonych warunkach temperaturowych i wilgotnościowych może wystąpić zjawisko samozagrzewania i zapłon masy ziarna. Badania intensywności oddychania ziarna oraz ubytku suchej masy ziarna potwierdziły wpływ temperatury składowania. Badania, z podkreśleniem udziału autora, prowadzone były na obiektach doświadczalnych wydzielonych z normalnie eksploatowanych elewatorów. Metody pomiarowe, jak również specjalnie opracowana aparatura były niezbędne do ich wykonania. Analityczna forma rozchodzenia się ciepła została rozszerzona i potwierdzona własnymi badaniami doświadczalnymi autora. Na szczególne podkreślenie zasługują badania modelowe i obiektowe, których wyniki utorowały i ukięrowały dalsze prace określone celem i zadaniami pracy.

W rozdziale 5 przedstawiono wymagania co do systemów monitorowania oraz UAR, przedyskutowane interdyscyplinarnie. Omówiono też struktury systemów iskrobezpiecznych wprowadzanych doświadczalnie, a także systemów, które powinny być wprowadzone w

przyszłości. Określono też najważniejsze wymagania dotyczące elementów i bloków funkcjonalnych oraz wymagania bezpieczeństwa funkcjonalnego.

W rozdziale 6 przedstawiono zadania projektowania systemów monitorowania. Struktura systemów zmieniała się wraz z rozwojem systemów i podzespołów systemów (sond). Zadania są wielostopniowe i dotyczą nie tylko systemu, ale również otoczenia tego systemu. Dostosowanie obiektu do zabudowy systemu wymaga wykonania wielu zadań budowlano-mechanicznych itp. Dla realizacji wielokrotnie dyskutowanych parametrów systemu wykonano wiele rozwiązań systemowych. Te, które znalazły zastosowanie obiektowe, są zaprezentowane, jak np. system analogowo-cyfrowy o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych i systemy z magistralą przesyłową. Zaproponowano również procedury projektowania systemów z magistralą, przeznaczonych do elewatorów jako obiektów z zagrożeniem wybuchowym. Wyszczególniono ważniejsze zagrożenia, które występują w elewatorze zbożowym jako obiekcie z zagrożeniem wybuchowym oraz przywołano klasyfikację dotyczącą pyłów i ich stężeń, które precyzuje nowa Dyrektywa międzynarodowa ATEX 100A [151]. Dla tych klasyfikacji należy przeprowadzić dobór aparatury pomiarowej. Ustosunkowano się również do wymagań dotyczących tak ważnego parametru jak dokładność i powtarzalność pomiarów. Zastosowanie czujników inteligentnych wymaga oddzielnego podejścia do projektowania szczególnie w zakresie struktur, oprogramowania itp. Otrzymane rezultaty okazały się na tyle pozytywne, że uzasadniają stosowanie tych czujników w sondach pomiarowych do elewatorów. W tym rozdziale opisano konstrukcję sond elastycznych o wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Niektóre rozwiązania sond objęte są ochroną patentową. W sondach zainstalowano miniaturowe czujniki temperatury. Stosowane były czujniki termistorowe, później miniaturowe ($\phi = 3$ mm) Pt, Ni, a ostatnio czujniki elektroniczne z wyjściem cyfrowym i przetworniki inteligentne. Opracowano i zamieszczono tabelę czujników elektronicznych z podaniem ich najważniejszych parametrów. Przedstawiono również budowę nowo opracowanych modeli czujników optoelektronicznych. Dla sond opracowano zestawienie wymagań, które powinny one spełniać. Zwrócono szczególną uwagę na wymagania mało jeszcze znane, np. wymagania iskrobezpieczeństwa i wymagania KEM.

Rozmieszczenie czujników temperatury w elewatorze i w sondzie było przedmiotem analizy na podstawie spodziewanego rozkładu pól temperaturowych w masie ziarna. Zaproponowano oryginalną metodę rozmieszczenia czujników. Kilka lat po tej propozycji znalazła ona uznanie w zespołach opracowujących normę ISO i została w niej zamieszczona. Obecnie uściślono położenie pierwszego i ostatniego czujnika w sondzie w zależności od kształtu komory elewatora. Do tego celu wykorzystano wyniki badań w paśmie podczerwieni.

Rozdział 7 zawiera wyniki badań sond temperatury. Są to badania specyficzne dla sond przeznaczonych do konkretnego zastosowania w elewatorach zbożowych. Z analiz porównawczych wynikało, że sondy muszą mieć wysoką wytrzymałość mechaniczną spowodowaną tarciami statycznym i dynamicznym ziarna o pancierz zewnętrzny sondy. Opracowano stanowisko tensometryczne do badań rzeczywistych sił występujących w zawieszonych sondach i przeprowadzono badania sił rzeczywistych. Określono również wartość analityczną tych oddziaływań statycznych. Publikacje amerykańskie, które pojawiły się w ciągu ostatnich 6 lat, podały po raz pierwszy znacznie precyzyjniejsze zależności siły w funkcji odległości zawieszenia sondy od osi symetrii. Autor spróbował zweryfikować otrzymane zależności przeprowadzając własne badania na obiekcie rzeczywistym. Okazało się, że na wartość siły oddziałującej na sondę ma znaczny wpływ wilgotność ziarna. Po wprowadzeniu modyfikacji wzoru Rossa i wprowadzeniu odpowiedniego współczynnika, otrzymane wyniki były bliższe wartości rzeczywistych. Szczegółowe wnioski z tych badań znajdują się na zakończeniu ich cyklu.

Wzorcowanie sond wymagało stworzenia stanowiska pomiarowego. Zaproponowano badania w komorze termostaticznej. Szczegółowe badania wykazały nierównomierny rozkład pola temperaturowego w przestrzeni probierczej komory, który może spowodować dodatkowe błędy kalibracji. Na podstawie badań dwoma typami przyrządów: miernika temperatury z czujnikiem Pt 100 oraz miernika bezdotykowego pracującego w paśmie podczerwieni wyznaczono optymalną przestrzeń, w której błędy te są najmniejsze. Podano również rysunek zasady budowy oryginalnego wysokostabilnego termostatu, z ogniwem Peltiera, do wyznaczenia charakterystyk temperaturowych czujników temperatury. Obecnie wyznacza się na nim charakterystyki większości czujników miniaturowych, tzn. metalowych, elektronicznych i optoelektronicznych.

Kolejne oryginalne badania dotyczyły bezwładności cieplnej sond. Odwzorowanie rzeczywistej temperatury przez sondy wymaga długiego czasu ustalenia temperatury mierzonej. Czas ten wynika z budowy sondy i ze stosowanych materiałów konstrukcyjnych sondy. Wyjaśnienie bezwładności cieplnej poprzedzone zostało opracowaniem metod pomiarowych i wykonaniem stanowisk laboratoryjnych. Bezwładność sond nie jest cechą szkodliwą, ponieważ w porównaniu z parametrami obiektu może być pomijalna. Tam jednak, gdzie system monitorowania współdziała z UAR, bezwładność cieplna sondy musi być uwzględniana na etapie projektowania układu sterowania. Na podstawie przeprowadzonych w niniejszej pracy badań poznawczych można stwierdzić, że istnieje konieczność korekty normy międzynarodowej ISO w zakresie wymagań wartości tego parametru. Wnioski znajdują się w tekście na zakończeniu tego cyklu badań.

Badania środowiskowe sond mają na celu dopuszczenie ich do pracy w styczności z produktem spożywczym, jakim jest ziarno zbóż. Wartość użytkowa tych badań jest oczywista i powinny to być badania obligatoryjne. Metoda badań przedstawiona w niniejszym rozdziale, może będzie przydatna przy konstrukcji nowych sond elastycznych.

Badania certyfikacyjne iskrobezpieczeństwa sond wymagały współpracy z ZD GIG Kopalnia Barbara, gdzie je wykonano. Badania te są okresowe z ważnością kilkuletnią. Procedury badawcze podano orientacyjnie, ponieważ pozytywne wyniki badań są podstawą otrzymania a następnie przedłużenia atestu. Przedstawienie ich ma na celu ujednolicenie badań elektrostatycznych, które budzą wiele kontrowersji wśród fizyków i elektryków. Na szczególnie podkreślenie zasługują opisane, energooszczędne zawieradła regulacyjne stosowane do mieszania powietrza wentylacyjnego przy aktywnej wentylacji. Rozwiązanie konstrukcyjne zawieradeł regulacyjnych jest chronione patentowo. Na zawieradła zostały opracowane wymagania techniczne i założenia energooszczędności.

Rozdział 8 zawiera procedury projektowania systemów monitorowania. Zwrócono uwagę na sposób zabudowy sond pomiaru temperatury. W starszych obiektach zabudowa wymaga znacznego wzmocnienia stropów, co znacznie rzutuje na kosztach instalacji systemu. W nowych obiektach, projektanci obiektu przewidują odpowiednie instalacje już podczas ich budowy. Ponieważ w niektórych obiektach będzie składowany rzepak jako surowiec energetyczny – paliwowy, więc docelowo będzie konieczny UAR sterujący wymuszoną wentylacją. Należy zwrócić uwagę, że rzepak jest trudny do składowania i wymaga dobrej kontroli temperatury. Dlatego przytoczono oryginalną metodykę badań identyfikacyjnych obiektu. Zaprezentowano również krótkie opisy zrealizowanych układów i systemów pomiarowych.

W rozdziale 9 przedstawiono właściwości metrologiczne dwóch systemów monitorowania: analogowego i cyfrowego z interfejsem RS. Przeprowadzono analizę błędów i określono dokładność pomiarów na zasadzie klasycznej i przez wyrażenie niepewności pomiarów. Do tego rozdziału włączono również identyfikację obiektu, ponieważ od jej poprawności zależy jakość regulacji. Zbadano także występujące zakłócenia przemysłowe w obiektach rzeczywistych i ich wpływ na dokładność wskazań aparatury pomiarowej. Badania

prowadzone były na unikatowej aparaturze zastosowanej po raz pierwszy w kraju do badań obiektów magazynowych w rolnictwie i przemyśle przetwórczym.

W rozdziale 10 starano się uzasadnić ekonomicznie celowość wprowadzenia systemów monitorowania w typowych elewatorach. Zastosowano oryginalną metodę wyliczania aspektów ekonomicznych. Niewielka zmiana tylko parametrów składowanego zboża przy zapewnieniu ciągłego monitorowania powoduje, że zwrot nakładów poniesionych na zakup aparatury pomiarowej i zainstalowania systemu monitorowania jest krótki i nie przekracza 1,5 roku. Opłacalność jest więc bezdyskusyjna. Przeprowadzono również próbę optymalizacji systemów pomiarowych w aspekcie ekonomicznym. Dotychczasowe badania prowadzone tylko dla jednego parametru, tzn. temperatury. Monitorowanie dalszych parametrów takich jak wilgotność, wysokość zasypu, pomiary CO₂, CO itp. powinno być celem dalszych prac, ponieważ przyczyniają się one do lepszej kontroli magazynowania uzasadnione również spodziewanymi efektami ekonomicznymi.

Podsumowanie uzyskanych wyników pracy należy traktować łącznie z wnioskami i dyskusją zakończającą ważniejsze podrozdziały i rozdziały tej monografii. Taki przyjęty system redagowania ma na celu szybsze dotarcie do informacji interesujących specjalistów z określonych dziedzin ze względu na interdyscyplinarny charakter pracy.

11.4 Uwagi końcowe

Do zasadniczych rezultatów tej pracy można zaliczyć opracowanie:

- * syntezy zjawisk wewnątrz magazynowanego ziarna, modelowanie pól termicznych oraz opracowanie metodyki badań obiektowych obejmujących pomiary podstawowych parametrów ziarna,
- * ważniejszych zagadnień projektowania systemów monitorowania z magistralą przesyłową: struktur, wymagań, odporności, procedur projektowania, współdziałania z systemami UAR oraz kompletacji elementów systemu,
- * wymagań, konstrukcji i zakresu badań, oraz wykonanie unikatowych stanowisk badawczych elastycznych sond temperatury,
- * zależności analitycznych zweryfikowanych badaniami doświadczalnymi na obiekcie rzeczywistym, dotyczących oddziaływań mechanicznych na elastyczne sondy temperatury, określenie ich inercji temperaturowej, wpływu na środowisko,
- * wymagań wynikających z nowych dyrektyw unijnych dotyczących aparatury pomiarowej przeznaczonej do pracy w warunkach zagrożenia wybuchowego,
- * wymagań dotyczących KEM,
- * uzasadnienia ekonomicznego wprowadzenia systemów monitorowania w elewatorach oraz kosztowo uzasadnionego projektowania sond temperatury i ich eksploatacji na podstawie oryginalnej metodyki szacunkowej,
- * propozycji kierunku dalszych prac rozwojowych dotyczących sond światłowodowych z czujnikami optoelektronicznymi.

O wartościach poszerzających wiedzę w zakresie wybranych zagadnień świadczą uzyskane rezultaty oraz ich analiza, dyskusja i wnioski, które znajdują się na zakończeniu ich omówienia (podrozdziałów, rozdziałów).

Główne wartości poznawcze w zakresie analizy zjawisk, wyników badań, nowych koncepcji podane są w punktach: 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 6.1, 6.3, 6.8, 7.3, 9.1, 9.3, 10.1, 10.3.

Na użyteczność wykonanych prac wskazują następujące okoliczności:

- * zostały zaproponowane nowoczesne struktury systemów monitorowania, które spełniają wymagania dokumentów normatywnych i spełniają oczekiwania użytkowników, przedstawione w punktach: 5.2, 5.3, 5.4, 8.3, 8.4.

- * opracowano nowe konstrukcje wysokowytrzymałych elastycznych sond temperatury, energooszczędnych zawieradeł regulacyjnych, przedstawionych w rozdziałach 6 i 7, oraz nowe czujniki optoelektroniczne, opracowano unikatowe stanowiska do badań czujników i wieloczujnikowych sond elastycznych, które są przedstawione w punktach 7.2, 7.3.
- * opracowano nowe pakiety programów komputerowych systemów monitorowania z czujnikami temperatury z wyjściem cyfrowym, które mogą być użyteczne w dalszych aplikacjach, punkt 8.4.
- * opracowano procedury projektowania systemów monitorowania w aspekcie ich zabudowy na obiekcie, punkty 8.2, 8.3.
- * konstrukcja elastycznych sond została opatentowana, a prawo do wykorzystania patentu zostało udostępnione kilku producentom krajowym, co przyczyniło się do upowszechnienia nie tylko sond pomiarowych, ale również systemów monitorowania w elewatorach zbożowych.

Przedstawiony obszar wybranych zagadnień systemów monitorowania jest interdyscyplinarny: z dziedziny fizjologii pól i technologii przechowywania rolniczego, metrologii elektrycznej, metrologii przemysłowej, automatyki, konstrukcji specjalistycznych sond pomiaru temperatury z zakresu mechaniki precyzyjnej i elektroniki, elementów wykonawczych systemów automatyki, optoelektroniki, techniki iskrobezpiecznej w systemach monitorowania przeznaczonych do elewatorów zbożowych. Opis zjawisk termicznych w ziarnie zbóż jest znacznie uproszczony i ograniczony do zagadnień, z których wynikają bezpośrednie wnioski dla określenia właściwości metrologicznych. W szerszym zakresie jest przedstawiony w kilku publikacjach wymienionych w rozdz. 12: [2, 4, 5, 20, 87, 105, 106], a także w artykułach z udziałem autora, dotyczących analizy intensywności procesów metabolicznych składowanego ziarna w elewatorach zbożowych [14, 15, 32, 33, 34].

Pomimo że w niniejszej pracy skupiono się na systemach monitorowania do elewatorów zbożowych, to przedstawione rozważania mają cechy znacznie szersze, pozwalające na uogólnienie skali problemów dla wielu innych podobnych aplikacji. Porównano zagrożenia wybuchowe pyłów zbożowych z najbardziej rozpoznanymi skutkami eksplozji pyłów węglowych i znanych materiałów wybuchowych, takich jak np. trotyl. Wykorzystano również doświadczenia z wdrażania układów automatycznej regulacji w magazynach płaskich, w których składowano ziemniaki, zboże i warzywa. Przedstawiono także wyniki zastosowania sond laskowych w różnych obiektach, jak np. w warszawskich kompostowniach.

Wkład autora w upowszechnienie, a następnie konstrukcję aparatury pomiarowo-kontrolnej przeznaczonej do pracy w atmosferze zagrożonej wybuchem sięga wielu lat [42, 50, 62, 68, 71]. Pierwsza monografia autora z tej dziedziny została opublikowana jeszcze w latach 60. Również praca doktorska autora dotyczyła zastosowania aparatury elektrycznej i hydrauliczno-elektronicznej w zespołach napędowych przekładni elektrycznej dużej mocy. Aparatura ta pracowała w atmosferze o wysokim stężeniu wybuchowych oparów spalinowych. Wyniki tej pracy były przemysłowo wykorzystywane w różnych aplikacjach tzw. maszyn roboczych ciężkich oraz agregatów prądotwórczych. W tym sensie, prace te były kontynuacją zdobytych wcześniej doświadczeń, podobnie jak przedstawiona tematyka monitorowania.

Ustalenie parametrów systemów monitorowania było trudne i długotrwałe ze względu na konieczność osiągnięcia kompromisu między specjalistami z różnych dziedzin i metrologami identyfikującymi problemy pomiarowe. Dlatego wiele aspektów pracy było przedstawianych, przez autora, w czasopismach branżowych, a także na konferencjach krajowych i zagranicznych w założeniu, że ewentualna dyskusja spowoduje i ułatwi wymianę poglądów na te tematy i uściśli wymagania techniczne i środowiskowe.

12. LITERATURA

- [1] Bucei G., Landi C., Ocera G.: *Digital Wireless Data Communication Network for Distributed Measurement: System Architecture and First Experimental Results*, IMEKO TC-4, TEMI 2001, pp. 308+312, Lizbona 2001.
- [2] Bulisiewicz T., Matzke W., Smaryński E., Świątek H.: *Magazynowanie ziarna zbóż, nasion strączkowych i oleistych*, WNT, Warszawa 1975.
- [3] Bock W.J., Urbanczyk W.: *Selected application of fibre-optic sensors based on highly birefringent fibers*, Application of Photonics Technology, G.A. Lampropoulos et al., Plenum Press, New York, pp. 315-316, 1996.
- [4] Ciećko Z. i in.: *Ocena jakości i przechwalnictwo produktów rolnych*, ART, Olsztyn 1993.
- [5] Chotkowski J., Szyszło J.: *Produkcja roślinna, technologia przechwalnictwa zbóż, ziemniaków i pasz*, Fundacja Rozwoju SGGW, Warszawa 1994.
- [6] Cleaveland P.: *Temperature monitoring and control: What's hat, what's not?*, Ia.CS No 6, 1987.
- [7] Chwaleba A., Pomiński M., Siedlecki.: *Metrologia elektryczna*, WNT, Warszawa 1994.
- [8] Długoszewski B. i in.: *Pomiary cieplne*, WNT, Warszawa 1993.
- [9] Connolly J.J.: *Interpolation equations for industrial platinum resistance thermometers, Temperature, Its Measurement and control in Science and Industry*, Volume Six, American Institute of Physics, New York, pp. 419+422, 1992.
- [10] D'Orazio A., Lay Ekuakille A., Prudenzeno F.: *Mapping of Remote Sensing Measurements with Intrinsic Random Function of Order K*, XVI IMEKO World Congress, Vien, Austria, T26(TC19), pp. 33-37, 2000.
- [11] Dudójć B., Mindykowski J.: *Błędy dodatkowe i ich wyznaczenie w pomiarach temperatury w obszarach zagrożonych wybuchem na statkach morskich*, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji 47 z. 3, ss. 355+375, 2001.
- [12] Dudójć B., Mindykowski J.: *Opis i metodyka oceny własności metrologicznych i eksploatacyjnych dwuprzewodowych torów pomiarowych w obszarach zagrożonych wybuchem na statkach morskich*, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji 47 z. 3, ss. 323+354, 2001.
- [13] Elias M.C., Strach S.J.: *OSNET™ - an engineered fibre-optic sensing system for industrial applications*, Ind. Journal of Optoelectronics, vol. 6 nr 1/2, 1991.
- [14] Fornal Ł., Majewska K., Gudaczewski W., Kobosko A.: *Jakość technologiczna ziarna z górnej i dolnej warstwy komory przechwalniczej*, Przegląd Zbożowo-Młynarski XLII(4): 6-8, 1998.
- [15] Fornal Ł., Majewska K., Gudaczewski W., Kobosko A.: *Jakość technologiczna ziarna pszenicy w czasie przechowywania*, Biuletyn Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie nr. 4, 1998.
- [16] Frączek J.: *Aparatura przeciwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym*, Katowice 1995 ŚWT.
- [17] Frączek J.: *Gotowość prawna w Polsce w zakresie możliwości stosowania dyrektywy Wspólnoty Europejskiej ATEX 100*. VI Konferencja Telekomunikacji w Górnictwie. Szczyrk 4-6 czerwca 2003, Politechnika Śląska (ISBN 83-915731-8-4).
- [18] Górniak W.: *Opracowanie systemu pomiaru temperatur w komorach elewatora*, Wyd. Centralnego Laboratorium Technologii Przetwórstwa i Przechwalnictwa Zbóż, s. 25, 1985.

- [19] Goszczyński T., Jaszek M.: *Zestaw sieci Lon Works o zdecentralizowanej inteligencji do pomiarów i sterowania*, Konf. nt.: Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i Przemysle-WSI, ss. 79-88, Zielona Góra 1996.
- [20] Grzesiuk S., Górecki R. i inni (praca zbiorowa): *Fizjologia plonów. Wprowadzenie do przechowalnictwa*, Wydawnictwo ART, Olsztyn 1994.
- [21] Horabik J.: *Wpływ właściwości mechanicznych ziarna pszenicy na rozkład obciążenia w zbiorniku*, Acta Agrophysica nr 1, Wyd. Inst. Agrofizyki PAN, 1994.
- [22] Iida O., Iwamura T., Yamamoto S.: *Expansion of measurement range of a fibre-optic distributed temperature sensor and application to commercial plants*, Proceeding of the XIII IMEKO World Congress, vol. 2, Turyn 1994.
- [23] Jachowicz R.S., Weremczuk J.: *Typy czujników inteligentnych*, Materiały z konferencji pt. „Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne COE'92”, s. 308-316.
- [24] Jakubczak H.: *Kosztowo zorientowane projektowanie konstrukcji nośnych maszyn*, Problemy Maszyn Roboczych KBM PAN, ss. 23-29, z. 6. vol. 6, 1995.
- [25] Jankowski St.: *Zarys technologii zbóż i strączkowych jadalnych*, Towaroznawstwo i Przechowalnictwo, PWN, Poznań 1967.
- [26] Jankowski J.: *Wagi i ważenie wysokiej dokładności*, WNT, Warszawa 1982.
- [27] Jaworski J.: *Niedokładność, błąd i niepewność pomiaru*. Pomiar, Automatyka, Robotyka nr 7-8, ss. 12-16, 1999.
- [28] Jaworski J.: *Błąd i niepewność pomiaru bezpośredniego*. Pomiar, Automatyka, Robotyka nr 8, ss. 8-12, 1999.
- [29] Jaworski J.: *Błąd i niepewność pomiarów pośrednich*. Pomiar, Automatyka, Robotyka nr 10, ss. 7-11, 1999.
- [30] Jaworski J.: *Błąd i niepewność przyrządów pomiarowych*. Pomiar, Automatyka, Robotyka nr 11, ss. 5-7, 1999.
- [31] Jaworski J., Morawski R.Z., Olędzki J.S.: *Wstęp do metrologii i techniki eksperymentu*, WNT, Warszawa 1992.
- [32] Kamiński E., Jeleń H., Kobosko A., Wiewiórowska M.: *Ocena mikrobiologiczna ziarna zbóż dostarczonego do punktów skupu w latach 1996, 1997 i 1998 r.*, Biuletyn nr 1 Akademii Rolniczej w Poznaniu i Dodatek w Przeglądzie Zbożowo-Młynarskim 8/99, ss. 28-30, 1999.
- [33] Kamiński E., Jeleń H., Kobosko A., Wąsowicz E., Wiewiórowska M.: *Związki lotne wykrywane w ziarnie zbóż po zbiorach*, Biuletyn nr 1 Akademii Rolniczej w Poznaniu i Dodatek w Przeglądzie Zbożowo-Młynarskim 8/99, ss. 30-32, 1999.
- [34] Kamiński E., Jeleń H., Kobosko A., Wiewiórowska M.: *Badanie składu mikroflory przechowywanego ziarna zbóż*, Biuletyn nr 1, Akademii Rolniczej w Poznaniu i Dodatek w Przeglądzie Zbożowo-Młynarskim 8/99, ss. 25-27, 1999.
- [35] Kamiński M., Zubrzycki M.: *Badania sił działających na przewody odciążające w silosach*, Inż. i Bud., nr 8, 1980.
- [36] Kaul P., Maltry W., Müller H., Winter U.: *Wissenschaftlic-technische Grundlagen zur Klimagestaltung in Tierproduktionsanlagen und Lagerräumen*, Akademie Nauk Rolnych, Poczdam, 1975.
- [37] Kobosko A.: *Elektryczny układ automatycznej regulacji w przechowalni ziemniaków*, Konf. w Inst Ziemniaka nt. „Techniczne i technologiczne problemy w przechowalnictwie ziemniaków”, 1979.
- [38] Kobosko A.: *Zastosowanie krajowego systemu automatyki i pomiarów w rolnictwie*, Mechanizacja Rolnictwa nr 15, 1979.

- [39] Kobosko A.: *Izmieritielnaja sistema dlja awtomaticzeskogo regulirowanija klimata w chraniłiszczach sielskochozajstwiennych produktow*, Konf. CSVTS-RWPG, Praga-lesnickich stroju", 1979.
- [40] Kobosko A.: *Opracowanie i wykonanie przenośnej aparatury do pomiaru temperatury ziarna w zbiornikach metalowych*, Biul. IBMER 1979 nr 5, Biul. SITR nr 10/37, 1980.
- [41] Kobosko A.: *Aparatura kontrolno-pomiarowa w magazynach płodów rolnych*, Mech. Rolnictwa nr 5-6, 1982.
- [42] Kobosko A.: *Wybrane zagadnienia sterowania procesami przechowywania ziemniaków i ziarna zbóż w magazynach rolniczych*, s. 149, nakład 100.egz., Wyd. IBMER, Warszawa 1983.
- [43] Kobosko A.: *Measuring systems for controlling atmospheric conditions in grain and potato storages*, Konf. nt. „Mikroprocessors in systems for agricultural applications”, Agr. Univ., Ås/Oslo-Norwegia 1984.
- [44] Kobosko A.: *Pomiary i regulacja temperatury w przechowalnictwie rolniczym*, Mech. Rolnictwa 1985 nr 8.
- [45] Kobosko A.: *Zdalny pomiar temperatury i wilgotności*, Przegląd Zbożowo-Młynarski, nr 4, 1985.
- [46] Kobosko A.: *Układ pomiarowy temperatury do silosów typu SZG-200/400*, Biul. IBMER nr 13, 1985.
- [47] Kobosko A. i in.: *Kontrola warunków magazynowania w przechowalnictwie rolniczym*. Oprac. Stałej Komisji RWPG dot. Automatyzacji i Robotyzacji Rolnictwa, Moskwa, Mat. RWPG, Min. Roln. Leśn. i Gosp. Żywn., IBMER, Warszawa 1986.
- [48] Kobosko A.: *Metody pomiaru temperatury i wilgotności ziarna składowanego w silosach zbożowych*, Mat. z Kraj. Konf. nt. „Aparatura kontrolno-pomiarowa w rolnictwie”. Biul. IBMER nr 6, 1986.
- [49] Kobosko A.: *Temperatur-Messungen in Schuttmaterialien mittelst der Mikroprozessortechnik*, Mat. z Konf.: „Kammer der Technik, Berlin 1986.
- [50] Kobosko A.: *Wybrane układy pomiarowe i automatycznej regulacji stośowane do kształtowania mikroklimatu w magazynach rolniczych*, s. 186, nakład 100 egz., IBMER, Warszawa 1986.
- [51] Kobosko A.: *Program rozwoju elektronizacji automatyzacji i robotyzacji w rolnictwie, leśnictwie i gospodarce żywnościowej*, Mat. z X Krajowej Konf. Automatyki. T. 2. Lublin 1988.
- [52] Kobosko A.: *Zdalny pomiar i regulacja temperatury w materiałach sypkich*. Mat. z X Krajowej Konf. Automatyki, T. 3. Lublin 1988.
- [53] Kobosko A.: *The temperature measuring and registration system for small and large grain storages*. Mat. z VI Symp. „Polioprivredno masinostvo i nauka”. Belgrad, Jugosławia 1988.
- [54] Kobosko A., Jórczak J., Leśkiewicz H.: *Komputerowy system kontroli do elewatorów zbożowych obniżający straty w składowanym ziarnie oraz zmniejszający zużycie energii i paliw*. Mat. z Konf. nt.: „Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska”, Poręбка-Kozubnik 1993.
- [55] Kobosko A.: *Metody sterowania komputerowego w aspekcie oceny jakości i diagnostyki na przykładzie zrobotyzowanego stanowiska transportu wewnętrznego*, Referat opublikowany w materiałach z seminarium nt. Wybrane zagadnienia automatyzacji i robotyzacji elastycznych systemów transportu wewnętrznego, ss.71-75, Wyd. Politechnika Warszawska, Warszawa 1994.

- [56] Kobosko A.: *Computer system of control for the largest grain storages*, Proceed. of the XIII IMEKO World Congress. Vol.3. Turyn 1994.
- [57] Kobosko A., Leśkiewicz H.: *Aparatura kontrolno-pomiarowa dla przechowywania zbożowego*, Biul. PIAP nr 2, 1995.
- [58] Kobosko A., Leśkiewicz H.: *Kontrola składowanego ziarna w magazynach zbożowych*, cz. I i II Przegląd Zbożowo-Młynarski nr 7 i 8, 1995.
- [59] Kobosko A.: *Accuracy of measurement and vertical loading of temperature cables in grain storages*, Konf. IMEKO pn. „METROMATIKA” i „6-Congreso International de Metrologia - INDUSTRIAL-CIMI 95”, Saragossa 1995.
- [60] Kobosko A.: *Thermal distribution analyse on material storages realised by noncontact measurement*, Konferencja ISMT II 96, Hayama, Tokyo Institute of Technology-Japonia, ss.113-118, 1996.
- [61] Kobosko A., Leśkiewicz H.: *Komputerowy system pomiarowo-kontrolny w magazynach produktów sypkich i ziarnistych*, Konf. nt.: Systemy pomiarowe w badaniach naukowych i przemyśle, WSI, Zielona Góra 1996.
- [62] Kobosko A.: *Systemy pomiarowo-kontrolne stosowane w magazynach materiałów sypkich i ziarnistych*, Wyd. PIAP, str. 92, 1996.
- [63] Kobosko A.: *System zdalnego pomiaru i rejestracji podstawowych parametrów ziarna zbóż podczas jego magazynowania*, referat wygłoszony i opublikowany w materiałach z Konferencji „AUTOMATION 97” Warszawa, ss. 275-279, 1997.
- [64] Kobosko A.: *Computer system for thermal measurement with optoelectronic sensors in grain elevators*, XIV IMEKO World Congress, Tampere-Finlandia, 1997, pp. 185-190 T.VI, materiały: CD-ROM i internet, 1997.
- [65] Kobosko A., Sawicki A.: *Rozkład pola temperatury w komorze termicznych udarów*, referat wygłoszony na XXIX Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów MKM'97 i opublikowany w materiałach z Konferencji, ss. 267-274, Nałęczów 1997.
- [66] Kobosko A.: *Monitoring procesów termicznych w atmosferze wybuchowej obiektów przemysłu zbożowego*, Wyd. PIAP, ss. 67, 1997.
- [67] Kobosko A.: *Komputerowy system METROTHERM DAC 20 do monitorowania temperatury w silosach i elewatorach zbożowych oraz iskrobezpieczne sondy pomiarowe temperatury dla tego systemu*, Konferencja KNT „AUTOMATICON 98” Warszawa, ss. 1-6, 1998.
- [68] Kobosko A.: *Systemy monitoringu przeznaczone do obiektów przechowywania produktów zbożowych z zagrożeniem wybuchowym*, referat wygłoszony i opublikowany w materiałach z Konferencji KNT „AUTOMATION 99”, Warszawa, ss. 69-81, 1999.
- [69] Kobosko A.: *Monitoring procesów termicznych w składowanych materiałach sypkich*, referat wygłoszony i opublikowany w materiałach z IV Szkoły-Konferencji MWK'99, Rynia k. Warszawy, ss. 209-216, t. 3, 1999.
- [70] Kobosko A.: *Optoelectronic sensors for protection against grain dust explosions*, Proceedings of XV IMEKO World Congress, CD-ROM, Osaka, Japonia, 1999.
- [71] Kobosko A.: *Systemy monitorowania w elewatorach zbożowych*, PIAP, s. 144, Warszawa 2000.
- [72] Kobosko A.: *Monitoring systems for protection against dust explosions*, XVI IMEKO World Congress, Wiedeń, Austria, T26(TC19) pp. 9-15, 2000.
- [73] Kobosko A.: *Monitoring System for Technical Drive Diagnostic*, IMEKO TC-4, TEMI 2001, pp. 450-456, Lizbona 2001.

- [74] Kobosko A., Piórkowski P.: *Systemy monitorowania procesów szybkozmiennych*, Automation 2001 Warszawa, ss. 114-124.
- [75] Kobosko A.: *Wymagania normalizacyjne dla aparatury przeznaczonej do pomieszczeń zagrożonych wybuchem*, Biuletyn nr.3-4 Centralnego Laboratorium Technologii Przetwórstwa i Przechowalnictwa Zbóż, 2001, ss. 49-57.
- [76] Kobosko A.: *Systemy monitoringu do obiektów z zagrożeniem wybuchowym*, Konferencja KNT „AUTOMATICON 2002” ss.1-6, Warszawa 2002.
- [77] Kobosko A., Sawicki A.: *Szacowanie niepewności pomiaru w iskrobezpiecznych systemach monitorowania w elewatorach zbożowych*, Konferencja KNT „AUTOMATICON 2003” ss. 1-11, Warszawa 2003.
- [78] Kobosko A., Pietrusiński Zb.: *Cyfrowy iskrobezpieczny system monitorowania temperatury*, Konferencja KNT „AUTOMATICON 2003” ss.1-10, Warszawa 2003.
- [79] Kobosko A.: *Pomiar temperatury w elewatorach zbożowych*, Przegląd Zbożowo-Młynarski, nr 2 i 3, ss.1-10, 2003.
- [80] Kobosko A., Pietrusiński Zb.: *System monitorowania temperatury w silosach zbożowych*. Pomiar, Automatyka, Robotyka nr 4, ss. 36-41, 2003.
- [81] Kotarbiński T.: *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk*, Warszawa 1929.
- [82] Kulesza J. i in.: *Pomiary cieplne - Cz. I*, WNT, Warszawa 1993.
- [83] Kusińska E.: *Effect of moisture content of cereal grains layer on pressure distribution on silo wall*, International Agrophysics, ss. 199-204, 1998.
- [84] Leśkiewicz H., Kobosko A.: *Aparatura kontrolno-pomiarowa dla przechowalnictwa zbożowego*, Biuletyn PIAP nr 2-178, ss.1-37, 1995.
- [85] Leśkiewicz H., Kobosko A.: *Komputerowy system pomiarowo-kontrolny w magazynach produktów sypkich i ziarnistych*, materiały z KN.: Systemy pomiarowe w badaniach naukowych i przemyśle SP'96-WSI Zielona Góra, PAN, ss.143-152, 1996.
- [86] Long D.A.: *Raman spectroscopy*, Mc Graw-Hill, Londyn 1977.
- [87] Łysak J.: *Układ punktów pomiarowych i sposób zdalnego pomiaru temperatury zboża składowanego w komorach spichrzowych*, Biul. CLTPiPZ nr 207, 1977.
- [88] Michalski L., Eckersdorf K.: *Pomiary temperatury*, WNT, Warszawa 1986.
- [89] Michalski L., Kuźmiński K., Sadowski J.: *Regulacja temperatury urządzeń elektrotermicznych*, WNT, Warszawa 1981.
- [90] Molenda M., Horabik J., Ross I.J.: *Loads in model grain bins as affected by filling methods*, Trans. of ASAE vol. 36 nr 3, 1993.
- [91] Nawrocki W.: *Komputerowe systemy pomiarowe*, WKŁ, Warszawa 2002.
- [92] Ooms M., Roberts A.W., Johnke B.L.: *The use antidynamic inserts for the control of flow pressures during concentric and eccentric discharge from grain silos*, Intern. Symp. on Reliable Flow Particulate Solids by The University of Newcastle-Australia. Bergen, 1985.
- [93] Pabis St.: *Suszenie płodów rolnych*, Warszawa PWRiL, 1965.
- [94] Pieper K.: *Investigation of silo load in measuring models*, Journal of Engineering for Industry Transaction of the ASME, 91, pp. 365-372, 1963.
- [95] Piotrowski J.: *Podstawy metrologii*, PWN, Warszawa 1977.
- [96] Piotrowski J., Rogalski A.: *Półprzewodnikowe detektory podczerwieni*, WNT, Warszawa 1985.
- [97] Pociask U.: *Procedury doboru aparatury pomiarowej do kontroli obiektów o strukturze sieciowej*, Wyd. Politechniki Śląskiej, 1989.

- [98] Przygodzki J.R.: *Przetwarzanie sygnałów pomiarowych w przetwornikach inteligentnych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 192, ss. 173-180, Rzeszów 2002.
- [99] Romaniuk M.: *Zastosowanie techniki światłowodowej w metrologii*, Materiały z V Konf., Instytut Lotnictwa, Warszawa 1981.
- [100] Rozenberg V.J.: *Wstęp do teorii błędów systemów pomiarowych*, PWN, Warszawa 1982.
- [101] Sawicki A.: *Błąd a niepewność – nieporozumienie w praktyce laboratoryjnej*, KNT-Automation 2002, Automatyzacja – Nowości i Perspektywy, ss. 451-456, Warszawa, 2002.
- [102] Sawicka M., Sawicki A.: *Błędy multiplikatywne i addytywny pod wpływem narażeń*, referat wygłoszony na XXIX Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów MKM'97 i opublikowany w materiałach z Konferencji, ss. 499-506, Nałęczów 1997.
- [103] Stabrowski M.: *Miernictwo elektryczne-cyfrowa technika pomiarowa*, WPW, Warszawa 1994.
- [104] Schwab C.V., Curtis R.A., Thompson S.A., Ross I.J.: *Vertical loading of temperature cables*, Paper No. 89-4002 ASAE/CSAE. Trans. of the ASAE Vol. 34(1), 1991.
- [105] Schwab C.V., Thompson S.A., Williams A., Ross I.J.: *Temperature cable loads comparison between model and full-scale experiments*, ASAE nr 90-4016, 1990.
- [106] Sergunow W.S.: *Distancjonnyj kontrol temperatury ziarna w elewatorach*, Kołos, Moskwa 1977.
- [107] Szargut T.: *Teoria procesów cieplnych*, PWN, Warszawa 1973.
- [108] Szyszło J.: *Modelowa technologia suszenia i przechowywania ziarna zbóż przeznaczonego na paszę*, Biul. IBMER - CODK nr 13, Kłudzienko 1980.
- [109] Ślisz J.: *Wymagania dotyczące urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem pyłów*, Materiały szkoleniowe GIG dot. Dyrektywy 94/9/WE, Katowice 1999.
- [110] Tatarkiewicz Wł.: *Historia filozofii*, Warszawa wyd. 7, 1970.
- [111] Tichy M, Houwalt A.: *Dynamiczne właściwości czujników termometrycznych*, PAK 11/1976.
- [112] Turzeniecka D.: *Analiza dokładności pewnych przybliżonych metod oceny niepewności*, IV Szkoła - Konferencja MWK'99, tom 1, ss. 59-88, Rynia k. Warszawy 1999.
- [113] Tomczyk S.: *Magazyny ziarna i innych nasion*, PWRiL, Warszawa 1970.
- [114] Winiecki W.: *Organizacja komputerowych systemów pomiarowych*, OWPW, Warszawa 1997.
- [115] Wolański P.: *Grain dust explosion and control*, Final Report Grant, p. 258, Warsaw 1993.
- [116] Zhang O., Britton M.G., Jeremek R.: *Discharge loads in smooth and corrugated walled model bins for wheat, barley and canola*, ASAE Paper No 91 - 4063, 1991.
- [117] Zubrzycki M.: *Badanie efektów dynamicznych w silosach metalowych podczas ich eksploatacji*, Inż. i Bud. nr 4, 1988.
- [118] Żuvela Z.: *System za nadzór mierzenia temperatury u celjema silosa*, SPT-Jugostawia 1979.

NORMY, PUBLIKACJE NORMATYWNE I CERTYFIKATY

- [119] FAO Agricult. Dev. 1990. Paper No. 90.: *Handling and storage of food grains.*
- [120] ISO-4112:1990 *Cereal and pulses - Guidance on measurement of the temperature of grain stored in bulk.*
- [121] PN-ISO 5725 *Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów – Część 1:2002 Ogólne zasady i definicje, Część 6:2002 Stosowanie w praktyce wartości określające dokładność.*
- [122] PN-84/E-08119 *Elektryczne urządzenia przeciwybuchowe. Mieszaniny wybuchowe. Klasyfikacja i metody badań.*
- [123] PN-EN 50020-12:2000 *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, Wykonanie iskrobezpieczne „i”.*
- [124] PN-EN 50020:2003(U) *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Wykonanie iskrobezpieczne „i”. Tytuł oryginału: Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres – Intrinsic safety „i” (w tłumaczeniu i druku).*
- [125] PN-EN 26184-1:2000 *Systemy ochrony przeciwybuchowej. Część 1: Wyznaczanie wskaźników wybuchowości pyłów palnych w powietrzu.*
- [126] PN-EN 1127-1:2001 *Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Część 1: Pojęcia podstawowe i metodologia.*
- [127] PN-84/C-01200/08 *Parametry zapalności i wybuchowości. Oznaczenia dolnej granicy wybuchowości pyłów.*
- [128] PN-EN 84/C-01200/09 - *Parametry zapalności i wybuchowości. Oznaczenia minimalnej energii zapłonu iskrowego pyłów.*
- [129] PN-EN 60751+A2:1997 *Czujniki platynowe przemysłowych termometrów rezystancyjnych.*
- [130] PN-IEC 60364-5-548:2001 *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Układy uziemiające i połączenia wyrównawcze instalacji informatycznych.*
- [131] PN-EN 60079-17:2001 *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 17: Kontrola i konserwacja instalacji elektrycznej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (innych niż w kopalniach).*
- [132] PN-ISO 3534-1:2002 *Statystyczne sterowanie jakością. Terminologia i symbole. Część 1: Ogólne terminy z zakresu rachunku prawdopodobieństwa i statystyki.*
- [133] PN-ISO 2854:1994 *Statystyczna interpretacja danych. Technika estymacji oraz testy związane z wartościami średnimi i wariancjami.*
- [134] PN-84/N-01052.05 *Statystyka matematyczna. Badania statystyczne. Porównywanie wariancji dwóch populacji o rozkładach normalnych.*
- [135] PN-83/N-01052.07 *Statystyka matematyczna. Badania statystyczne. Badania zgodności rozkładu właściwości w populacji z rozkładem teoretycznym.*
- [136] PN-71/N-02050 *Metrologia. Nazwy i określenia.*
- [137] PN-EN 50065-1:2002 *Transmisja sygnałów w sieciach elektrycznych niskiego napięcia w zakresie częstotliwości od 3 kHz do 148,5 kHz. Część 1: Wymagania ogólne, zakres częstotliwości i zaburzenia elektromagnetyczne.*
- [138] PN-EN 61000-4-8:1998+A1:2002(U) *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Metody badań i pomiarów - Badania odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej.*
- [139] PN-EN 1434-5:2001 *Ciepłomierze. Część 5: Badania do legalizacji pierwotnej.*
- [140] PN-92/E-05202 *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Bezpieczeństwo pożarowe i/lub wybuchowe. Wymagania ogólne.*

- [141] PN-92/E-05203 *Ochrona przed elektrycznością statyczną. Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem. Metody badań oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu.*
- [142] PN-88/E-04405 *Materiały elektroizolacyjne stałe. Pomiary rezystancji.*
- [143] ASTM Standards. Designation: D257-90. *Standard test methods for D-C resistance or conductance of insulating materials. Vol. 10.02.*
- [144] IEC-61508 *Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems. Part 1-7.*
- [145] IEC-61511 *Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – Part 1: Framework, definitions, system, hardware and software requirements, 2003.*
- [146] KDB nr 98.476, Orzeczenie atestacyjne dotyczące bezpieczeństwa przeciwybuchowego wydane przez Główny Instytut Górnictwa - Kopalnia Doświadczalna „Barbara” na *Sondy temperatury typu EST -11 do silosów i elewatorów zbożowych wraz z załącznikiem nr 1.*
- [147] Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii, GUM 1996.
- [148] Wyrażanie niepewności pomiaru, Przewodnik, GUM 1999.
- [149] Leksykon naukowo-techniczny z suplementem, WNT, 1989.
- [150] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z 3 listopada 1992 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. Dziennik Ustaw RP nr 92 z 10 grudnia 1992 r. Rozdz. 5 ze zmianą z dnia 21 sierpnia 1995 r. (Dziennik Ustaw nr 102, poz.507). Instalacje i urządzenia techniczne.
- [150] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 marca 1994 w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem 94/9/WE (ATEX 100A) .Wyd. 2 (po korekcje), Katowice, listopad 2001.

PATENTY

- [152] Kobosko A., Paszkowski W., Marszałek T.: *Przepustnica powietrza.*, nr 43707.
- [153] Kobosko A., Marszałek T., Górniak W., Pachwiczewicz A., Łapiński T.: *Sonda do pomiaru temperatury*, nr 39269.

KATALOGI

- [154] FOSS EL., SWEMA, AUTRONIC, DICKEY JOHN, TELETERM MC, NS, AN.DEV, METROTERM DAC-20”, PIAP 1995, METROTERM DAC30Ex, PIAP 1999.
- [155] Application Note AN9003: *A user's guide to intrinsic safety*, Measurement Technology Limited, Wielka Brytania, 1989.
- [156] 1-Wire Net Design Guide-Dallas Semiconductor Corp. Tech., Tech. Brief. No /3/22/00, p.22.
- [157] The Temperature Handbook, 21 Century Preview Edition, Katalog firmy OMEGA ENGINEERING, INC., Stamford, USA, 2000. Volume 29, pp. 270+273, 1996.
- [158] Mały rocznik statystyczny, 2002.

13 STRESZCZENIE

Systemy kontrolno-pomiarowe i systemy automatycznej regulacji, przeznaczone do materiałów sypkich i ziarnistych, spełniają ważną funkcję zapobiegającą niszczeniu tych materiałów w trakcie ich przechowywania. Zapobiegają także groźnym w skutkach wybuchom pyłów w magazynach, prowadzącym do ich częściowego zniszczenia.

Określono parametry metrologiczne systemów i ich ważniejszych elementów, a także kryteria doboru sond w zależności od analizowanych pól temperaturowych wewnątrz materiałów. Wyraźny wzrost temperatury w ognisku wewnętrznego grzania ziarna wskazuje na możliwość potencjalnego wystąpienia zjawiska samogrzenia. Dzienna kontrola temperatury pozwala zabezpieczyć ziarno przed poważną groźbą jego zniszczenia.

Elastyczne sondy temperatury oraz wchodzące w ich skład czujniki i pancerze nośne wprowadzają do systemów pomiarowych szereg ograniczeń dotyczących m.in. inercji cieplnej, wytrzymałości mechanicznej, liniowości itp., które były szczegółowo analizowane. Starano się zminimalizować ujemny wpływ tych ograniczeń. Sprecyzowano również zależności analityczne, określające rzeczywiste obciążenia sond temperatury i porównano otrzymane wyniki z rezultatami badań doświadczalnych. Błędy były niewielkie, zaś rozważania prowadzono zarówno dla ziarna suchego, jak i zawilgoconego.

Uwzględniając szereg przedstawionych uwarunkowań, powstała propozycja nowych systemów pomiarowych na współczesnym poziomie. Wykonano kilka systemów magistralowych i przebadano je laboratoryjnie oraz na obiekcie pilotowym.

Na bazie dotychczasowych doświadczeń została określona procedura projektowania systemu monitorowania w elewatorach zbożowych oraz procedura dostosowania obiektu (elewatora, baterii silosów) do przewidzianych do zainstalowania w nim elementów i całego systemu. Przedstawiono również wyniki prac dotyczących konstrukcji nowych obwodów iskrobezpiecznych, wykorzystanych w aparaturze przeznaczonej do pracy w silnym zapyleniu. Zaproponowano również kierunki dalszych prac rozwojowych z dziedziny metodyki badań bezstykowych temperatury oraz nowych rozwiązań temperaturowych czujników światłowodowych.

14. SUMMARY

INTRINSICALLY SAFE MONITORING SYSTEMS

Intrinsically safe monitoring systems are used in hazardous environments, where there is flammable atmosphere, to indicate the probability of hazardous mixture of gas, dust and air.

Safety aspect in the design and structure of intrinsically safe field instrumentation into industrial application is presented. Electrical circuits with this instrumentation are protected against ignition and firedamp.

The principal aim of this work is the analysis of objects where the generation of heat caused the mixture's ignition. Electrical instruments in hazardous location were tested, for example, in grain elevators, battery silos, vertical and horizontal storages with agriculture and mineral products. Basing on those objects we determined the method of research and measuring identifications. The technical parameters of the systems and their elements have been defined, as well as temperature cable selection depending upon temperature source inside grain mass of stored.

Distinctive increases of the local temperature in the grain are a good indication of potential spoilage problems. Daily inspection of the internal temperature of the stored grain can detect the presence of a „hot spot” before any grain is seriously deteriorated. A new procedure of design instruments and procedure assemble in object was defined. Isolation of hazardous area equipment is presented. A few of new design of intrinsically safe apparatus are under patents right now . The result of design intrinsic safety is presents for equipment used in hazardous atmospheres in grain dust.

Intrinsically temperature cables and their sensors and very strong housing put in the system some negative limiting (for example in thermal inertia, mechanical strength material, linearity) has been analyzed in details. We tried to reduce the negative influence of those limits as well as define the analytic law of real loads. We compare the results of laboratorial tests. The errors are not so grave. The test was made for dry and humidity grain. On the base of a few limitations the proposition of modern measuring systems was established and the magistrale systems was tested in laboratory and experimental object. Intelligent sensors, precise thermostat of sensors test, optical sensors are tested in the laboratory and experimental objects. The first smart sensors are being tested in three grain elevators. The further directions for development of the analysis have shown non-contact temperature measuring systems with fibro cable and sensors. According to experiments conducted so far there is a new procedure of designing monitoring systems.

Basing on the ,results of the above experiments we can draw conclusions about other intrinsically safe monitoring systems on similar objects.

15. SKRÓTY LITEROWE

- AR – Akademia Rolnicza w Poznaniu
ART – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn (Akademia Rolniczo-Techniczna)
CN – Centrala Nasienna
IASE – Instytut Automatyzacji Systemów Energetycznych
IBMER – Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa
IBPS – Zakład Przetwórstwa Zbożowego Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego (skrót używany do roku 2002: CLTPiPZ)
IMEKO – Międzynarodowa Organizacja Metrologiczna
IMR – Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu
IMRC PW – Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich Politechniki Warszawskiej
JTI – Szwedzki Instytut Techniki Rolniczej, Uppsala
KEM – Kompatybilność elektromagnetyczna
KBM – Komitet Budowy Maszyn (PAN)
KBN – Komitet Badań Naukowych
KEM – Kompatybilność elektromagnetyczna
KFAP – Krakowska Fabryka Aparatury Pomiarowej
LI – Instytut Techniki Budowlanej, Gävle, Szwecja
L₁, L₂, L₃, N, PE – nowe znormalizowane w UE i Polsce oznaczenia sieci trójfazowej z zerowaniem i uziemieniem
MERA – Zjednoczenie Mera (już nie istnieje)
MIA – Instytut Mechanizacji Rolnictwa, Poczdam, Niemcy
Min. Rol. Leśn. i G.Ż. – Ministerstwo Rolnictwa, Leśnictwa i Gospodarki Żywnościowej
Min. PC. – Ministerstwo Przemysłu Ciężkiego
MON – Ministerstwo Obrony Narodowej
MTL – Measurement Technology Limited, Wielka Brytania
PIAP – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa
PIAP – LAB, Oddział Certyfikacji Wyrobów PIAP
PZZ – Polskie Zakłady Zbożowe
UAR – Układ Automatycznej Regulacji
UE – Unia Europejska
WISM – Instytut Mechanizacji Rolnictwa, Moskwa, Rosja
WITPiS – Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej
ZAP – Zakłady Automatyki Przemysłowej w Ostrowie Wlkp.
ZD KDB GIG Kopalnia Barbara – Zakład Doświadczalny Głównego Instytutu Górnictwa w Kopalni Doświadczalnej Barbara
ZD IMŻ – Zakład Doświadczalny Instytutu Metali Żelaznych, Gliwice