

## **BUDOWA I DZIAŁANIE CZUJNIKA WILGOTNOŚCI ZIARNA ZBOŻA WYKORZYSTUJĄCEGO PROMIENIOWANIE W ZAKRESIE BLISKIEJ PODCZERWIENI**

Dariusz Tomkiewicz

*Katedra Automatyki, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono budowę i wstępne badania dotyczące czujnika wilgotności ziarna zbóż opracowanego w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej. W czujniku tym zastosowano zbiór diod LED emitujących promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni (NIR). Wilgotność materiału jest mierzona na podstawie natężenia promieniowania świetlnego odbitego od powierzchni próbki ziarna.

**Słowa kluczowe:** wilgotność ziarna, układ pomiarowy, promieniowanie NIR

### **Wprowadzenie**

W przypadku przechowywania ziarna zboża, czynnikami wpływającym na możliwość bezpiecznego składowania jest jego wilgotność, temperatura, uszkodzenia mechaniczne ziarniaków oraz zanieczyszczenia. Wilgotność ziarna zbóż jest jednym z najważniejszych parametrów decydujących o ich przydatności do długotrwałego przechowywania.

Pomiar wilgotności jest trudny w przypadku ośrodków takich jak ziarna zbóż. Wynika to z różnorodności mechanizmów ruchu wody. W szczególności czynnikami utrudniającymi pomiar zawartości wody w ziarnie są: budowa i skład chemiczny badanego materiału, stan mechaniczny, zawartość elektrolitów, temperatura materiału suszonego, kolor, zanieczyszczenia, obecność pyłów rozpraszających promieniowanie elektromagnetyczne, tekstura powierzchni, oraz przestrzenne rozmieszczenie wody w materiale. W materiałach o takiej budowie, woda w miarę upływu czasu przenika przez kolejne warstwy materiału zmieniając jego właściwości fizyczne [Tomkiewicz 2000].

Układ do pomiaru wilgotności ziarna współpracujący z układem automatyki powinien zapewniać: wystarczająco mały błąd pomiarowy, powinien być odporny na długotrwałe przebywanie w atmosferze, której wilgotność dochodzi do 100% i panuje duże zapylenie. Układ także powinien działać przez wiele miesięcy bez konieczności obsługi przez operatora, być odporny na działanie wysokich temperatur, umożliwiać przesyłania informacji o wilgotności materiału do innych elementów układu sterowania. Ważnym wymogiem jest zapewnienie pracy w czasie rzeczywistym (tzn. czas przetwarzania danych na podstawie, których estymowana jest wilgotność materiału powinien być dużo mniejszy niż czas zmiany wilgotności materiału podczas procesu). Ostatnim wymaganiem, jakie jest stawiane

przed czujnikiem wilgotności jest jego cena, która powinna zapewniać jego dostępność dla użytkownika.

Istnieje wiele metod pomiaru wilgotności w ciałach stałych. Jednak w warunkach przemysłowych do najczęściej stosowanych należy zaliczyć metody elektryczne. Polegają one na pomiarze własności elektrycznej wilgotnego materiału np. rezystancji lub pojemności elektrycznej. Metody te w przypadku pomiaru pojedynczej własności elektrycznej charakteryzują się dużą niedokładnością. Jednak są one powszechnie stosowane z względu na odporność na działanie warunków środowiska oraz niską cenę układu pomiarowego. Dzięki możliwościom, jakie stwarza gwałtowny rozwój elektroniki i układów mikroprocesorowych możliwy jest pomiar nie tylko statycznych parametrów elektrycznych, lecz również zmian ich dynamiki w trakcie penetracji próbki badanego materiału przez sygnał elektryczny. Umożliwia to zwiększenie dokładności metod elektrycznych do wystarczającego poziomu [Tomkiewicz 2007].

Drugim rodzajem metod coraz częściej stosowanych również w warunkach przemysłowych są metody radiometryczne. Polegają one na pomiarze tłumienia wybranego pasma lub pasm częstotliwości fali elektromagnetycznej przechodzącej lub odbitej od próbki badanego materiału. Najczęściej do tego celu wykorzystywane jest promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni NIR (Near InfraRed). Niestety metody radiometryczne są trudne do wykorzystania w warunkach przemysłowych gdzie występuje duże zapylenie. Ponadto czujniki tego typu do tej pory charakteryzowały się wysoką ceną zakupu. W ostatnich latach jednak nastąpił gwałtowny rozwój w dziedzinie optoelektroniki i obecnie dostępne są w sprzedaży elementy optoelektroniczne umożliwiające budowę tego typu układów pomiarowych w przystępnych cenach.

## Cel badań

Bliska podczerwień NIR jest częścią widma elektromagnetycznego rozciągająca się w zakresie od 700 nm do 2500 nm. W zakresie promieniowania NIR na podstawie badań wyróżniono wiele pasm częstotliwości, które są związane z obecnością rozmaitych substancji chemicznych. Metoda ta wykorzystywana jest również do pomiaru ilości wody znajdującej się w materiałach stałych.

Cząsteczki wody, a ściślej wiązania H-O-H, wibrują z określoną częstotliwością. Promieniowanie elektromagnetyczne przechodząc przez próbkę materiału, w której znajdują się cząsteczki wody, jest absorbowane w paśmie odpowiadającym częstotliwości drgań wiązań [Tomkiewicz 2000].

Urządzenia do pomiaru wilgotności ciał stałych oparte na analizie promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni można podzielić ze względu na metodę wyodrębniania wybranego zakresu promieniowania NIR, w którym pochłanianie promieniowania jest uzależnione od zawartości wody w badanym materiale. W urządzeniach tych wykorzystuje się: filtry interferencyjne, siatki dyfrakcyjne, pryzmaty, diody emitujące promieniowanie w zakresie NIR, interferometry, przestrajalne optyczno akustyczne filtry AOFT oraz filtry optyczne z mikro-elektro-mechanicznymi układami MEMS–NIR [Burns 2007]. Najczęściej spotykanymi w praktyce są urządzenia wykorzystujące siatki dyfrakcyjne lub filtry interferencyjne. Takie rozwiązania są względnie niedrogie (cena urządzenia w zależności od

producenta i możliwości pomiarowych wynosi około kilkudziesięciu tysięcy złotych) a jednocześnie umożliwiają pomiar dostatecznie wąskiego pasma promieniowania, co wpływa na dokładność procesu pomiarowego. Cena tego typu urządzeń jest przystępna dla zakładów przetwórczych czy laboratoriów, które zajmują się analizą jakości ziarna. Jednak jest dalej zbyt wysoka, aby mogła być zastosowana powszechnie w warunkach polowych. W ostatnim okresie przemysł optoelektroniczny wprowadził na rynek tanie diody LED emitujące promieniowanie w wybranych pasmach NIR. Pasma te są tak dobrane, aby zakres ich pochłaniania był skorelowany z obecnością substancji chemicznych, w tym również wody.

Celem badań było zbadanie możliwości zbudowania taniego układu mierzącego wilgotność ziarna zbóż wykorzystującego, emitowane przez diody LED, promieniowanie NIR w wybranych pasmach. Układ ten byłby stosowany w układach pomiarowych sterujących procesem suszenia ziarna zboża.

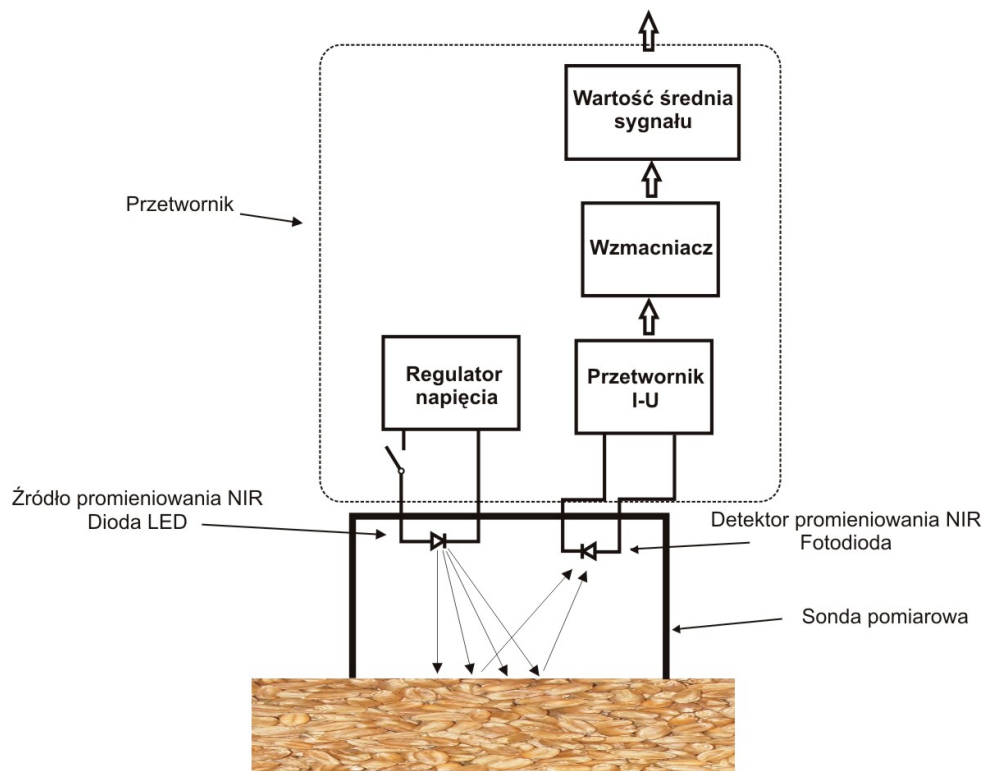
### **Układ pomiarowy**

Głównymi elementami układu pomiaru wilgotności zboża są trzy diody elektroluminescencyjne LED (L7850, L7866 oraz L8245 firmy Hamamatsu) emitujących promieniowanie w trzech zakresach NIR. Zakres promieniowania dwóch diod L7850 oraz L7866 (szczyt natężenia promieniowania w okolicach  $1,4 \mu\text{m}$ ) odpowiada pasmu częstotliwości wrażliwemu na obecność wody. Zakres promieniowania trzeciej diody L8245 tylko w niewielkim stopniu obejmuje to pasmo. Zakres promieniowania tej diody odpowiada pasmu częstotliwości wrażliwemu na obecność metanu. Trzecia dioda była wykorzystywana do kompensacji wpływu temperatury na zmianę natężenia promieniowania w zakresie podczerwieni.

Konstrukcja przyrządu pomiarowego została przedstawiona na rysunku 1. Układ pomiarowy składał się z dwóch części. Układ emisji promieniowania był zbudowany z trzech diod LED, regulatora napięcia wraz z potencjometrami umożliwiającymi zmianę wartości prądu zasilającego diody LED a tym samym zmianę natężenia emitowanego przez nie promieniowania, włączników umożliwiających włączanie i wyłączanie poszczególnych diod w dowolnej kombinacji.

Drugą częścią układu pomiarowego jest układ przetwarzający promieniowanie w zakresie NIR na sygnał elektryczny. Był on zbudowany z fotodiody (G8376 firmy Hamamatsu) umożliwiającej pomiar natężenia promieniowania w zakresie od  $0,9 \mu\text{m}$  do  $1,7 \mu\text{m}$ , przetwornika prąd-napięcie zbudowanego w postaci wzmacniacza trans impedancyjnego, wzmacniacza sygnału napięciowego oraz układu wyznaczającego wartość średnią napięcia. Mierzona wartość średnia napięcia była proporcjonalna do natężenia promieniowania odbitego od próbki materiału.

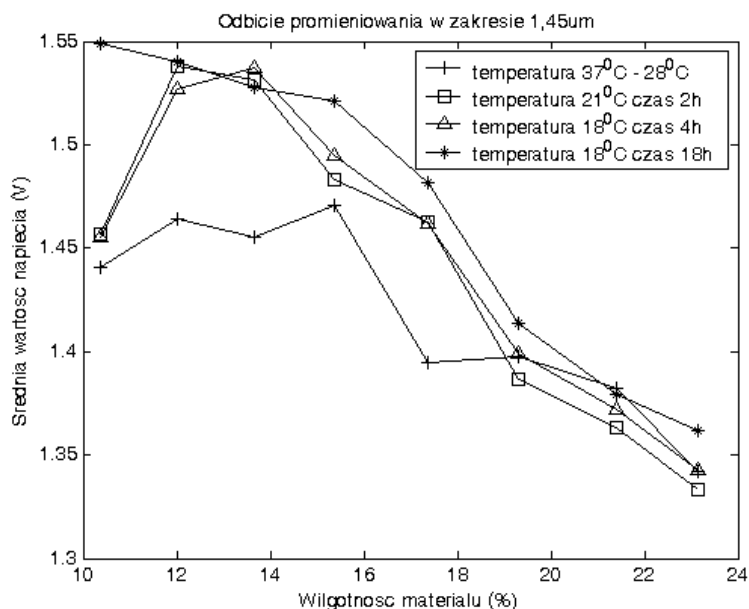
Elementy optoelektroniczne umieszczono w sondzie pomiarowej zbudowanej w postaci szczelnego pudełka osłaniającego fotodiodę przed promieniowaniem padającym z zewnątrz. Dno pudełka było otwarte. Dodatkowo zbudowano układ pomiaru temperatury składający się z półprzewodnikowego czujnika temperatury LM35. Dane pomiarowe były rejestrowane. Opracowywanie danych zastało przeprowadzone w środowisku MATLAB.



Rys. 1. Schemat budowy układu pomiarowego zawartości wody  
 Fig 1. Diagram showing the structure of measuring system for water content

## Badania

Obiektem badań było ziarno pszenicy odmiany Legenda udostępnione dzięki uprzejmości Poznańskiej Hodowli Roślin sp. z o. o. Krzemlin. Podczas doświadczeń używano próbki pochodzące z tej samej partii materiału. Przed doświadczeniami ziarno było nawilżane. Po nawilżeniu ziarno było przechowywane przez trzy doby w celu wyrównania wilgotności. Przygotowano próbki z nawilżonym zbożem o wilgotności 10%, 12%, 14%, 15,6%, 17,6%, 19,5%, 21,5 i 23,4% wilgotności względnej. Dodatkowo w celu sprawdzenia zależności od temperatury dla każdej z próbek dokonywano pomiaru dla trzech wartości temperatury ziarna. Próbki po nagrzaniu chłodzono do temperatury początkowej (18°C) w szczelnych naczyniach tak, aby utrzymać stałą wilgotność ziarna. Czas nagrzewania próbek był taki sam, lecz temperatury ziarna po nagrzaniu zawierały się w przedziale od 28°C do 37°C. Pomiar przeprowadzano następująco. Sonda pomiarowa była umieszczana na próbce badanego ziarna i rejestrowano średnią wartość napięcia, przemieszczano sondę w inne miejsce złoża ziarna i ponownie dokonywano pomiarów. Dla każdej wartości wilgotności i temperatury pomiar powtarzano dziesięciokrotnie.



Rys. 2. Zależność pomiędzy wartością natężenia odbitego promieniowania w zakresie 1,45  $\mu\text{m}$  a wilgotnością ziarna oraz okresem czasu upływającego od rozpoczęcia chłodzenia badanych próbek

Fig 2. Dependence between the value of reflected radiation intensity within range of 1.45  $\mu\text{m}$  and seed humidity, and time passing after commencement of examined sample cooling

Zmienność wskazań średniej wartości napięcia zależała o umiejscowienia sondy na próbce ziarna. Odchylenie standardowe wskazań dla dziesięciu pomiarów dochodziło do wartości 0,02V. Dla niskich wilgotności ziarna od 10% do 14% obserwowano wpływ czasu upływającego od rozpoczęcia chłodzenia próbki do chwili pomiaru na wartość pomiarową (rys. 2). Przez okres kilku godzin bezpośrednio po nagraniu próbki, wartości odczytane przez układ pomiarowy wskazywały na wyższą zawartość wody niż to było w rzeczywistości. Spadek temperatury ziarna do początkowej wartości (18°C) nie likwidował tego zjawiska. Dopiero po kilkunastu godzinach uzyskiwano monotoniczną zależność pomiędzy wilgotnością ziarna a natężeniem odbitego promieniowania.

## Wnioski

Wstępne badania potwierdziły, że możliwe jest zbudowanie taniego układu mierzacego wilgotność ziarna wykorzystującego pomiar promieniowania elektromagnetycznego w zakresie NIR. Niepewność pomiaru dla ustabilizowanych warunków temperatury mieściła się w granicach do 0,7 % wilgotności względnej dla maksymalnego wskazania. Wykazano duży wpływ temperatury mierzzonego ziarna oraz czasu upływającego od momentu nagrzania próbki na wskazania. Zjawisko to mogło być spowodowane pojawieniem się większej ilości wody na powierzchni ziarna pod wpływem gwałtownego wzrostu jego

temperatury. Zjawisko wyżej wymienione może spowodować powstanie niemonotonicznej zależności pomiędzy wilgotnością ziarna a średnią wartością napięcia opisującą natężenie odbitego promieniowania w zakresie NIR, które należy uwzględnić przy budowie układu pomiarowego wilgotności ziarna.

## **Bibliografia**

**Burns D., Ciurczak E.** 2007. Handbook of Near-Infrared Analysis, CRC Press. ISBN 9780849373930

**Tomkiewicz D.,** 2000. Inteligentny układ pomiaru wilgotności ziarna zbóż dla celów sterowania procesem suszenia. Praca doktorska. Politechnika Koszalińska.

**Tomkiewicz D.** 2007, Zastosowanie spektrometrii impedancyjnej do pomiaru wilgotności ziarna zbóż, Inżynieria Rolnicza. Nr 8(96). Kraków. s. 281-289.

Hamamatsu Photonics K.K. Noty aplikacyjne układów L7850, L7866, L8245 oraz G8376, Dostępny w Internecie: <http://www.hamamatsu.com>.

## **CONSTRUCTION AND OPERATION OF CORN SEED HUMIDITY SENSOR USING NEAR-INFRARED RADIATION**

**Abstract.** The paper presents the design and preliminary tests of corn seed humidity sensor developed at the Department of Automatics of the Koszalin University of Technology. This sensor contains a set of LED diodes emitting near-infrared radiation (NIR). Material humidity is measured on the basis of intensity of visible radiation reflected from seed sample surface.

**Key words:** seed humidity, measuring system, NIR radiation

### **Adres do korespondencji:**

Dariusz Tomkiewicz; e-mail [dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl](mailto:dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl)

Katedra Automatyki

Politechnika Koszalińska

ul Raławika 15

75-620 Koszalin