



# Wpływ chłodzenia detektora spektroradiometru matrycowego na zakres i niepewność wyników pomiarów

M. Pelko; A. Rybczyński; J. Lalek

## Plan prezentacji

1. Wprowadzenie.
2. Obniżenie poziomu prądu ciemnego detektora matrycowego.
3. Zwiększenie zakresu dynamicznego układu pomiarowego.
4. Obniżenie niepewności pomiarów.
5. Konfiguracja układu chłodzenia.
6. Podsumowanie.

## **Marcin Pelko**

Kierownik Laboratorium badawczo - wzorcującego w GL Optic Polska Sp. z o.o

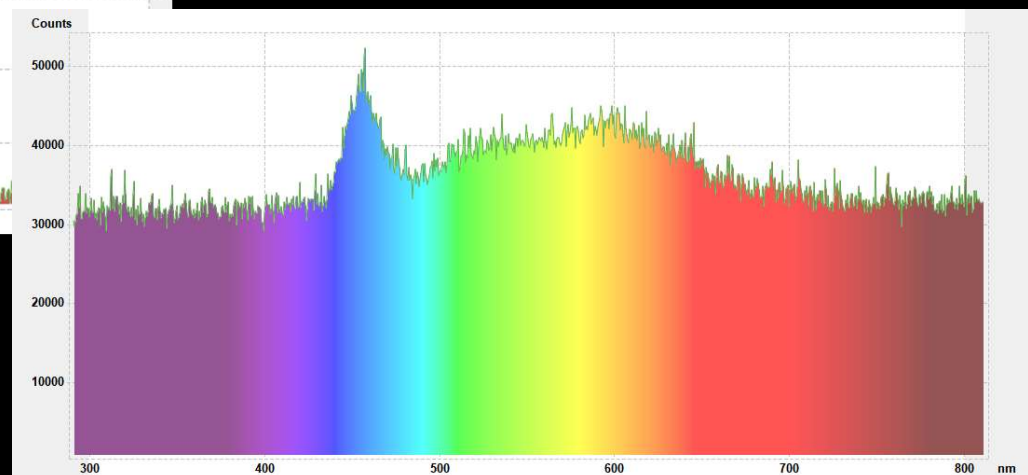
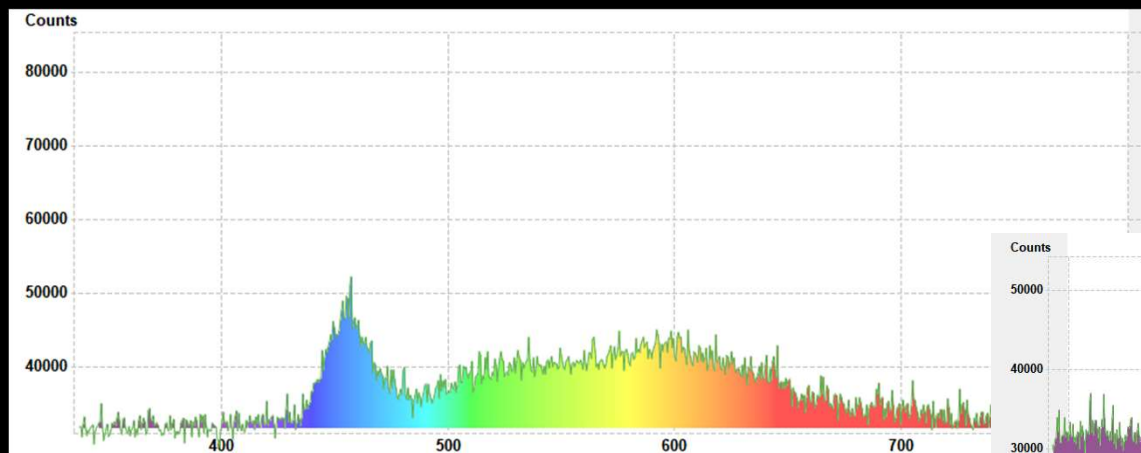


Absolwent Politechniki Poznańskiej na kierunku Elektrotechnika (specjalność Technika Świetlna).

Doświadczenie w prowadzeniu projektów wdrożeniowych dla produktów z obszaru źródeł do zastosowań specjalnych, oświetleniowych oraz z zakresu integracji systemów pomiarowych.

Koordinacja działań firmy w projektach badawczych prowadzonych w ramach programów NCBR oraz Horyzont 2020.

## Dlaczego chłodzenie detektora jest potrzebne?



Niskie poziomy sygnałów wymagają długich czasów integracji podczas pomiarów spektrometrem matrycowym. W takich sytuacji większa część zakresu dynamicznego urządzenia zostaje „pochłonięta” przez szumy.

# Projekt pn. „Opracowanie modułowej technologii pomiarów promieniowania optycznego w zastosowaniach laboratoryjnych i przemysłowych”

Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020

Działanie 1.1 Projekty B+R przedsiębiorstw

Poddziałanie 1.1.1 Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa

POIR.01.01.01-00-1548/20

Wartość projektu: 2 774 518,26 zł

Wkład z Funduszy Europejskich: 2 138 402,60 zł



Rzeczpospolita  
Polska

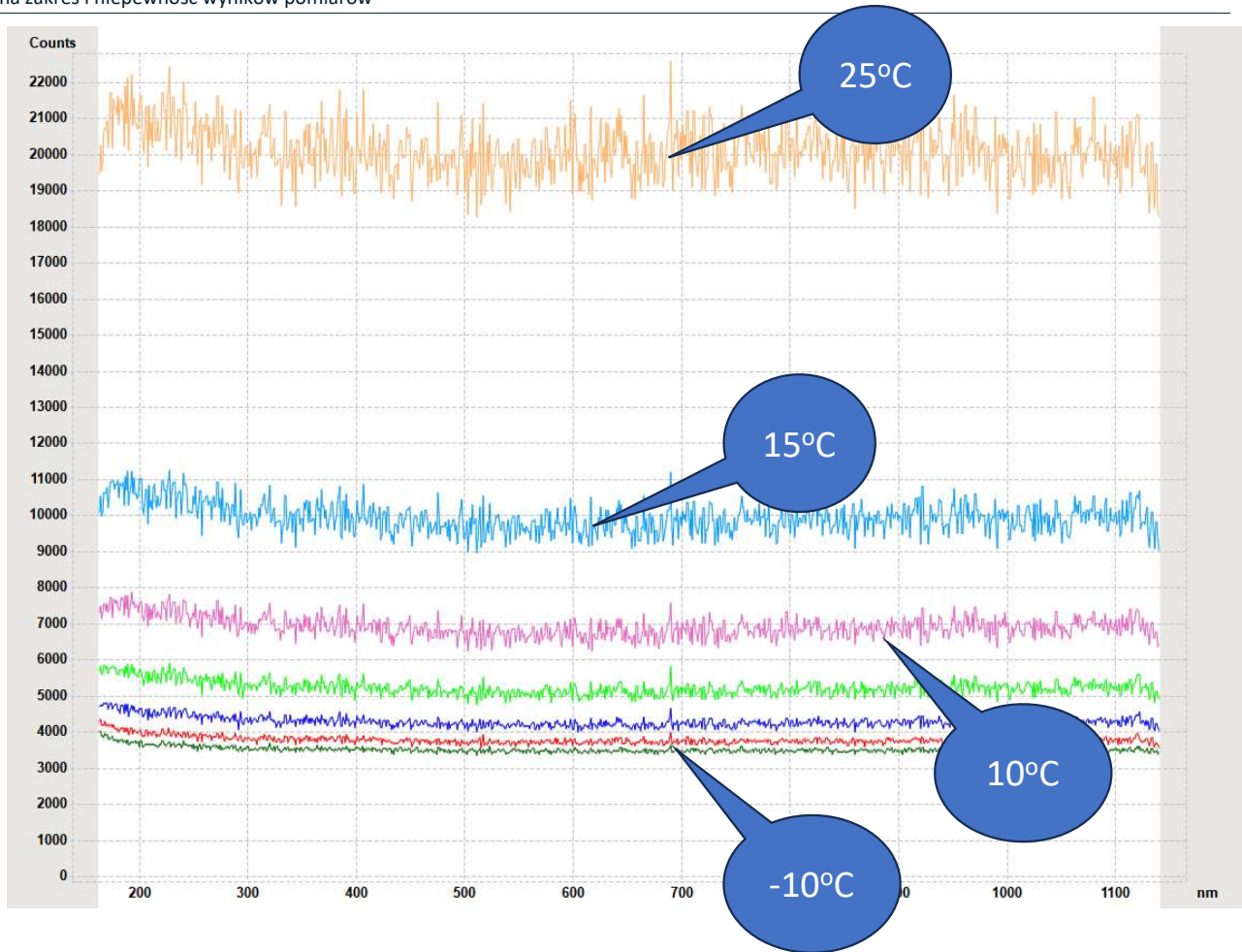


Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



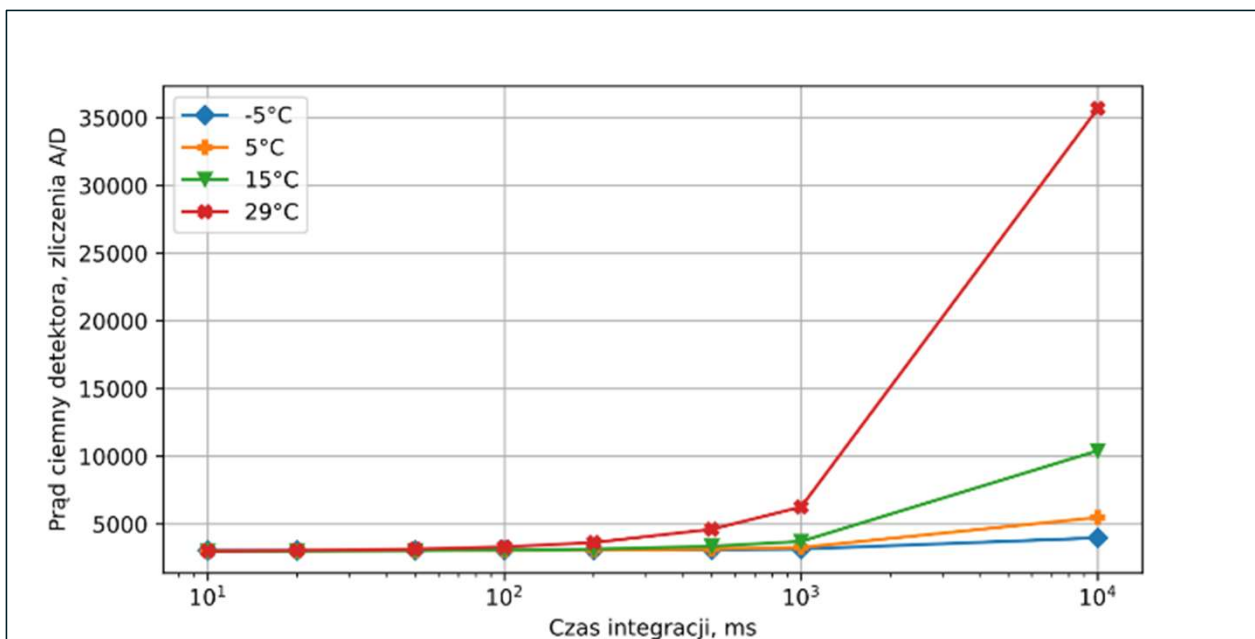
## Obniżenie poziomu prądu ciemnego

- Obniżenie temperatury pracy o każde 8°C powoduje około dwukrotne zmniejszenie średniej wartości prądu ciemnego dla jednakowego czasu pomiaru)
- Stabilizacja temperatury pracy na poziomie 15°C to 3x niższa wartość prądu ciemnego w odniesieniu do pracy matrycy niechłodzonej (ok. 30°C @20°C temp. otoczenia)



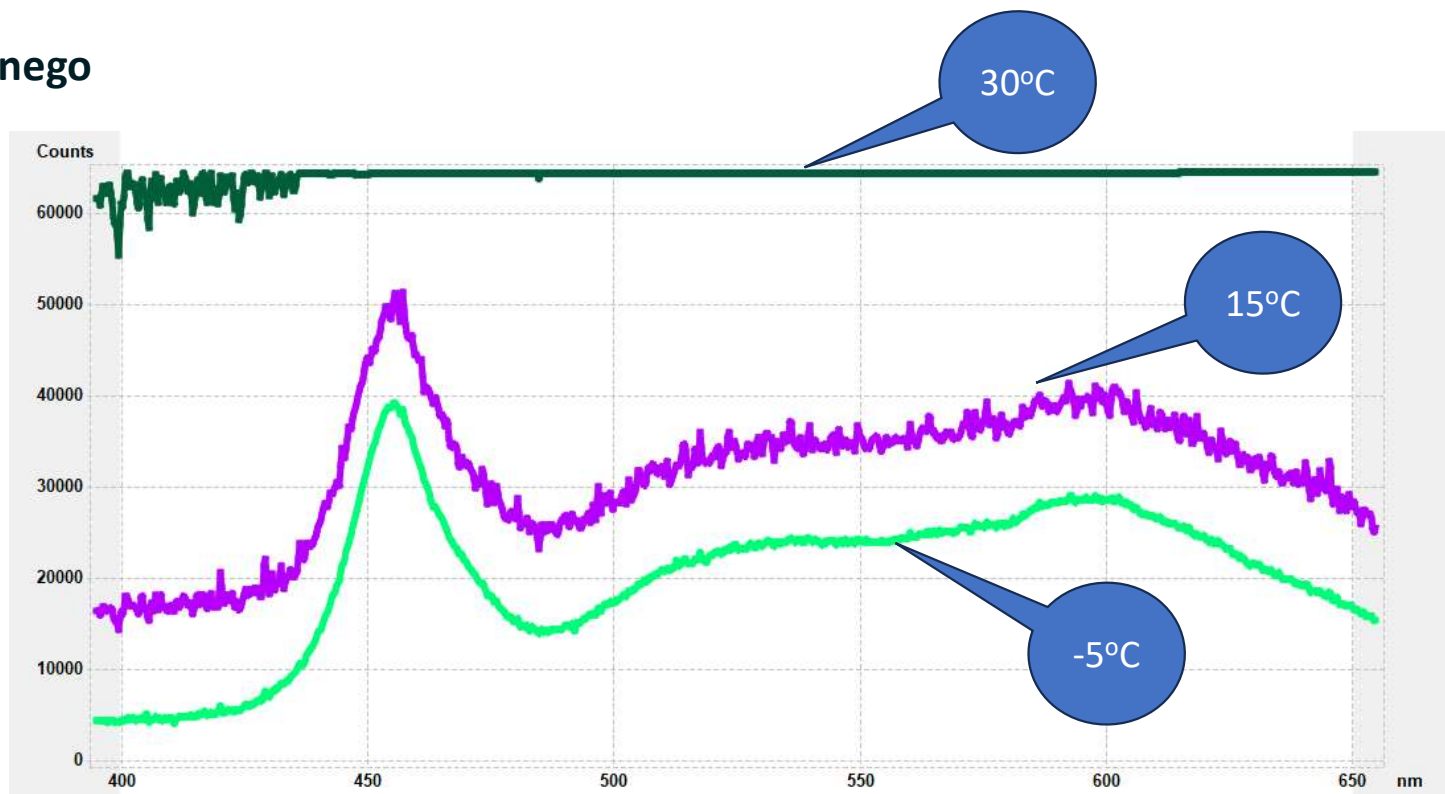
## Zależność prądu ciemnego od temperatury matrycy oraz czasu integracji sygnału

- Wpływ temperatury czujnika na wartość prądu ciemnego jest tym większy im dłuższy jest czas integracji sygnału
- Niechłodzony układ zmniejsza swój zakres dynamiczny o ponad 50% dla czasów integracji =10s



## Zwiększenie zakresu dynamicznego spektrometru

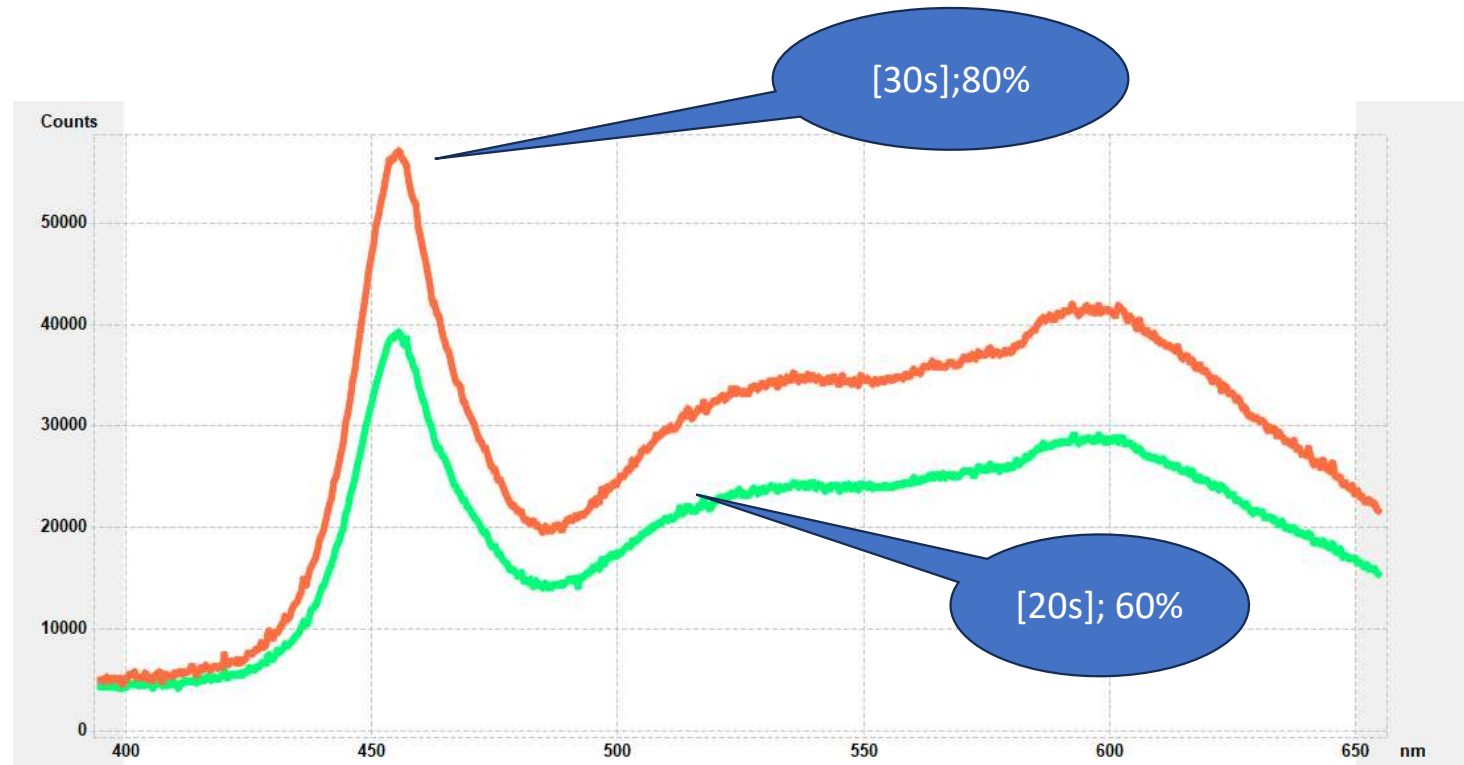
- Dla jednakowego czasu całkowania (20s) dostępny zakres dynamiczny dla pomiaru wynosi ok 90% (maks. 65k zliczeń; A/D 16bit) ; przy 15°C 70%
- Brak zastosowania chłodzenia skutkuje brakiem możliwości pomiarów dla czasów >10s ze względu na nasycenie czujnika „sygnałem” prądu ciemnego





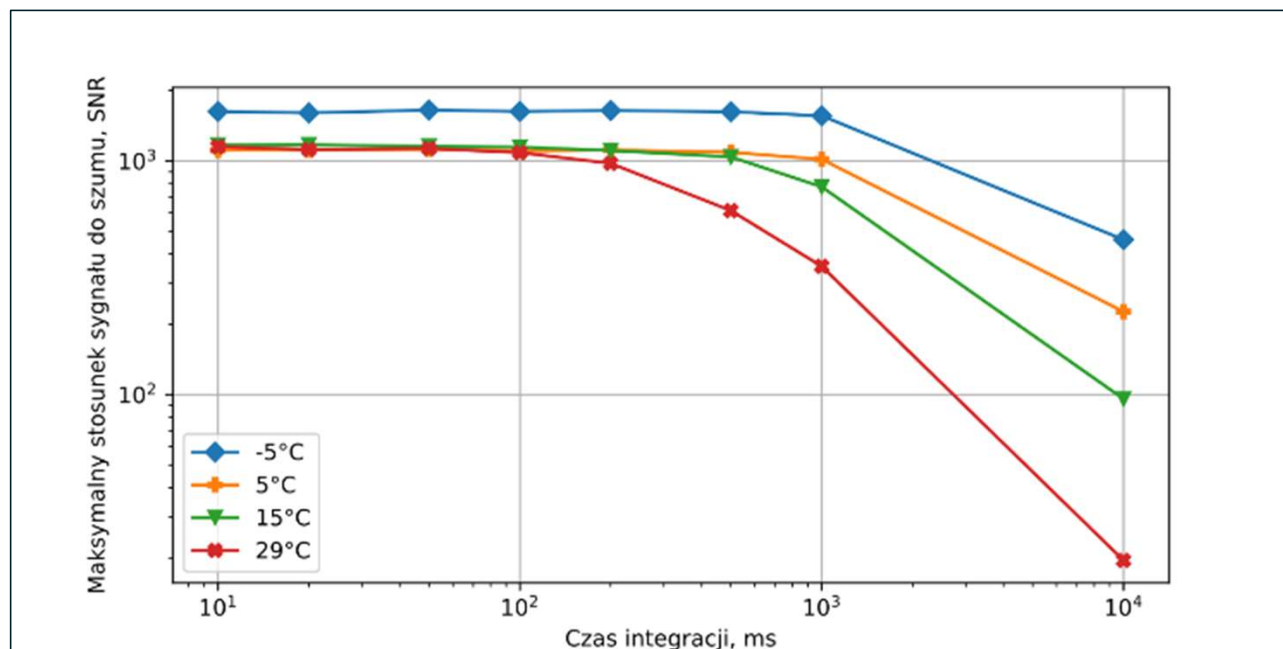
## Stabilność szumu w czasie

- zwiększanie czasu integracji nie wpływa znacząco na zwiększenie poziomu szumu detektora chłodzonego
- możliwe jest uzyskanie bardziej korzystnych poziomów stosunku sygnału do szumu.



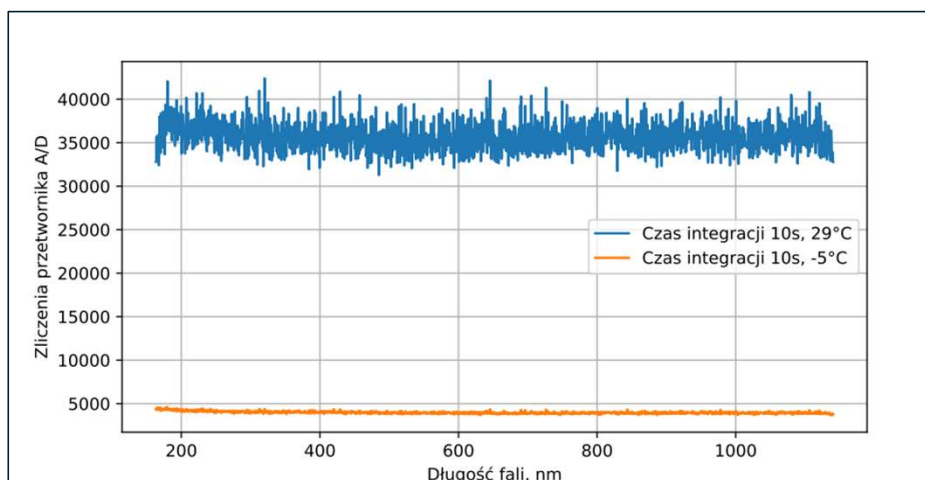
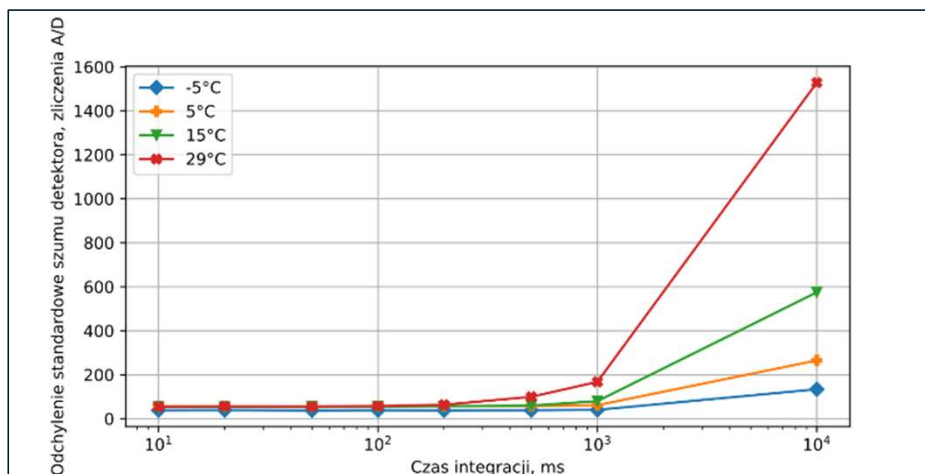
## Zwiększenie stosunku sygnału do szumu

- niższa temperatura matrycy CCD to zwiększony udział sygnału w stosunku do szumu



## Zmniejszenie wartości odchylenia standardowego szumów deektora

- niższa temperatura matrycy CCD to zmniejszona wartość odchylenia standardowego szumu detektora
- Zmienność szumu jest nawet 15x wyższa dla niechłodzonego detektora przy czasie 10s



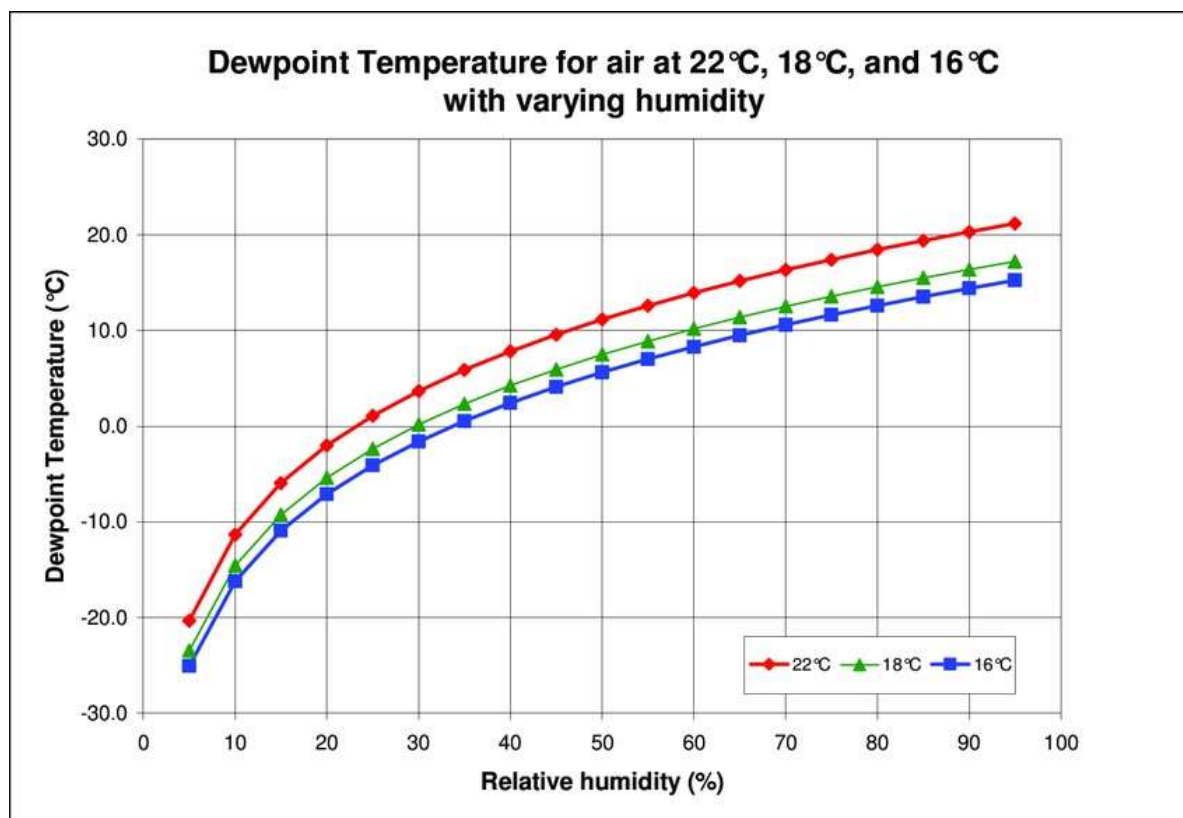
## Zmniejszenie niepewności pomiarów. Wyznaczenie niepewności dla dwóch temperatur i dwóch wartości natężenia oświetlenia

- Dla wartości natężenia oświetlenia 1500 lx, przy czasie integracji 2 s (poziom sygnału 70%) różnice nie są zauważalne. Dominującą składową niepewności złożonej wyniku pomiaru jest niepewność wzorcowania
- Dla wartości natężenia oświetlenia 10 lx, przy czasie integracji 10 s (poziom sygnału około 6%) różnica niepewności wyniosła 2%. Dominującą składową niepewności złożonej wyniku pomiaru jest w tym wypadku niepewność związana z szumem detektora i elektroniki

Natężenie oświetlenia	Temperatura	Liczba powtórzeń	U% dla k=2
[lx]	[°C]		
1500	-5	32	3,3%
1500	29	33	3,3%
10	-5	32	6%
10	29	32	8%

## Wyzwania konstrukcyjne

- Obniżanie temperatury czujnika w urządzeniu może skutkować skraplaniem się wody zawartej w powietrzu i doprowadzić do awarii urządzenia
- W warunkach pracy laboratoryjnej bezpieczną temperaturą jest 15°C
- Dla niższych temperatur niezbędny jest zastosowanie rozwiązania, które zabezpieczy układ przed działaniem wilgoci



Źródło: ASHRAE Handbook of Fundamentals

# Konfiguracja układu chłodzenia

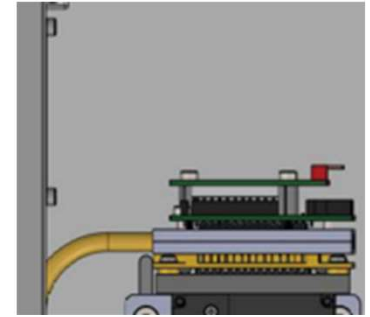
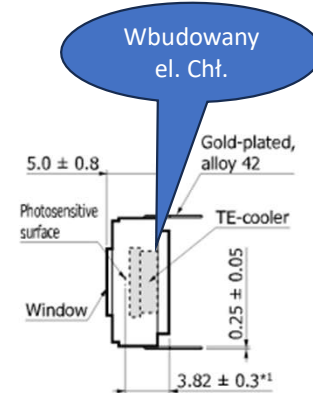
- Zastosowanie czujnika CCD z wbudowanym elementem chłodzącym, zamkniętym hermetycznie od strony „zimnej”
- Obniżenie temperatury poprzez dodanie zewnętrznego elementu obniżającego temp. (min. temp. zależna od aplikacji ze względu na punkt rosy)
- Brak zastosowania elementu obniżającego, rozwiązanie optymalne dla pomiarów wysokich sygnałów, lub w układach nie wymagających wysokich precyzji

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

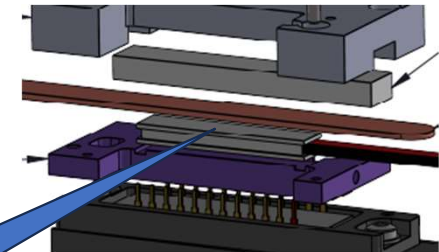


Źródło: Katalog Produktów Hamamatsu  
<https://www.hamamatsu.com/>

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS



opcjonalnie  
dodanie  
zewnętrznego  
elementu chłodzący



## Podsumowanie

- Obniżanie temperatury detektora w spektrometrze obniża poziom prądu ciemnego detektora umożliwiając zwiększenie zakresu dynamicznego, stosunku sygnału do szumu oraz znaczące wydłużenie dopuszczalnych czasów integracji (pomiarów niskich sygnałów przy długich czasach integracji)
- Obniżenie poziomu niepewności pomiaru spektrometrem chłodzonym z funkcją chłodzenia ma znaczenie dla pomiarów o niskim poziomie sygnału (często spotykany problem w zakresie nadfioletu)
- Uzyskanie niskich temp. W układzie chłodzenia wymaga zastosowania dedykowanych rozwiązań konstrukcyjnych w celu zabezpieczenia urządzenia
- Poziom temperatury chłodzenia lub brak układu chłodzenia powinien być dobrany zgodnie z indywidualnymi potrzebami użytkownika (w zależności od poziomu mierzonych sygnałów, uniwersalności rozwiązania => funkcja ta nie zawsze jest niezbędna)

*Źródło: ASHRAE Handbook of Fundamentals*

**Dziękuję za uwagę!**