

**Honeywell**  
HPMA115S0-XXX **Nova Fitness**  
SDS011**PLANTOWER**  
PMS 7003**SENSIRION**  
SPS30**SHARP**  
GP2Y1010AU0F **SHIYEI TECHNOLOGY**  
PPD42NJ **SHIYEI TECHNOLOGY**  
PPD71

# Systemy dla Internetu Rzeczy (38)

## Cyfrowe czujniki pyłów



Pomiar poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłami staje się bardzo istotnym zagadnieniem zdrowotnym. Pojawienie się niedrogich czujników pyłów spowodowało ich szerokie zastosowanie w systemach Internetu Rzeczy. Podzespoły te są intensywnie rozwijane, niektóre serie czujników doszły już do siódmej generacji. Szczególnie dużo jest producentów dalekowschodnich, których produkty charakteryzują się niską ceną i szczątkową dokumentacją. Według oceny projektu World Air Quality Index większość tanich czujników pyłów jest zdecydowanie bezużytecznymi zabawkami, ale niektóre nowsze konstrukcje zaczynają osiągać wyniki porównywalne z profesjonalnymi monitorami.

**Fatalna jakość powietrza w Warszawie. „Zamykamy okna!”,  
Metro Warszawa, 05.04.2020 11:44**



Jak podaje portal wp.pl: „Koronawirus może być większym zagrożeniem, niż dotychczas przypuszczaliśmy. Naukowcom udało się potwierdzić, że wirus może znajdować się w pyłe zawieszonym, który tym samym potencjalnie sprzyja szerzeniu się koronawirusa. Choć z jednej strony badacze mówią, że obecność koronawirusa w pyłe zawieszonym nie jest jednoznaczna z możliwością zarażenia się w ten sposób, to z drugiej zalecają, by poświęcić temu problemowi więcej uwagi i zadbać o minimalizację szkodliwych pyłów w powietrzu. Te koniec końców i tak są szkodliwe dla człowieka i jego układu oddechowego, niezależnie od ewentualnej obecności wirusa”.

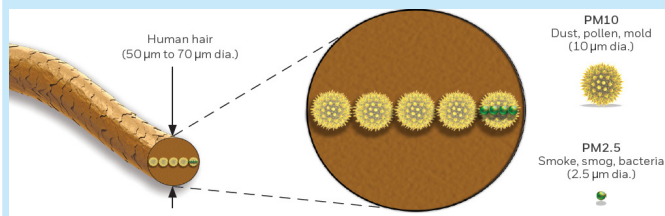
Typowe czujniki pyłów różnych producentów pokazane na rysunku tytułowym były omówione w przeglądzie technologicznym zrealizowanym przez firmę System Plus Consulting w roku 2019 [3]. To porównanie czujników jest bardzo szczegółowe (z zastosowaniem

techniki revers engineering) oraz bardzo drogie. Są też inne porównania, ale niezbyt aktualne. Earth Sensing Labs z projektu World Air Quality Index prowadzi od wielu lat badania nad czujnikami jakości powietrza i eksperymenty z danymi zbieranymi w czasie rzeczywistym [4]. Swoistym poligonem pomiarowym jest Pekin.

W artykule zostały zaprezentowane wszystkie czujniki z rysunku tytułowego oraz kilka zupełnie nowych. Są to modele niedrogie, wyposażone w cyfrowy interfejs komunikacyjny z protokołem UART, I<sup>2</sup>C oraz czasami PWM. Dla niektórych udało się pokazać zasadę działania, schematy blokowe oraz zajrzeć do wnętrza. Dobrym sposobem wyboru elementów jest porównanie parametrów. Dla wszystkich czujników zostały podane istotne parametry, choć dla niektórych było bardzo trudno je odnaleźć. Prezentowane czujniki są raczej przeznaczone do pracy w pomieszczeniach, przy ograniczonym zakresie temperatury i wilgotności.

### Wykrywanie cząstek stałych w pomiarach jakości powietrza

Materiał w postaci cząstek, w skrócie PM (*Particulate Matter*), jest mieszaniną unoszących się w powietrzu cząstek stałych i kropelek cieczy, które mogą być wdychane i powodować poważne problemy zdrowotne. PM obejmuje cząstki o różnych właściwościach – tj. kształcie, właściwościach optycznych, wielkości i składzie – ale najczęściej dzieli się je na podkategorie na podstawie informacji



**Rysunek 1. Porównanie rozmiaru cząstek PM10 i PM2.5 oraz włosa ludzkiego [7]**

o wielkości cząstek. Różne kategorie cząstek stałych są zwykle określane zgodnie ze wspólną nomenklaturą PM.x, gdzie „x” określa maksymalną średnicę cząstek w mieszaninie cząstek w powietrzu lub aerozolu [1].

Nazewnictwo w tej dziedzinie jest skomplikowane ze względu na to, że dużo terminów jest tłumaczonych bezpośrednio z angielskiego, a terminologia angielska jest stosunkowo mało precyzyjna [2]. Dla przykładu *atmospheric aerosol*, *particulate matter*, *particulates* są używane w angielskim wymiennie. Ostatnio w Polsce, zwłaszcza w dokumentach legislacyjnych, używa się terminu **pyły zawieszone** na określenie wszystkich typów aerozolu atmosferycznego, włączając w to krople siarczanów, cząstki sadzy oraz aerozol soli morskiej. Jednak pyły atmosferyczne (*dust*) w języku angielskim nie określają wszystkich aerozoli atmosferycznych. Pewien problem sprawia fakt, że w języku polskim aerozole są kojarzone z rozpylanymi kropelkami, a pyły są kojarzone w większości z cząstkami stałymi.

Typowa definicja PM obejmuje cząstki o wielkości od 0,1 do 10 mikrometrów. Najczęściej spotykaną klasyfikacją ze względu na wielkość cząstek jest podział na dwie frakcje [2]:

1. PM2.5 – wszystkie aerozole atmosferyczne o wielkości cząstek 2,5 mikrometra lub mniejszej, w skład których wchodzi zwykle stosunkowo reaktywne związki organiczne i nieorganiczne (np. azotan amonu), smog, bakterie, drobny kurz;
2. PM10 – wszystkie cząstki o wielkości 10 mikrometrów lub mniejszej, w skład których wchodzi zwykle stosunkowo obojętne chemicznie związki takie jak krzemionka i tlenki metali, kurz, pyłki roślinne, zarodniki pleśni.

Cząstki PM10 i PM2.5 są niewidoczne gołym okiem. Porównanie rozmiaru cząstek PM10 i PM2.5 oraz włosa ludzkiego (około 60 mikrometrów średnicy) jest pokazane na **rysunku 1**.

Kategorie PM10 i PM2.5 zostały historycznie określone przez różne kraje jako ważne poziomy monitorowania w celu oceny jakości powietrza, którym oddychamy, ponieważ cząsteczki PM10 podrażniają odsłoniętą śluzówkę, również oczy i gardło, a cząstki PM2.5 przemieszczają się przez płuca do pęcherzyków płucnych.

Nowe kategorie, takie jak PM1.0 i PM4.0, również znajdują zastosowanie w urządzeniach do monitorowania jakości powietrza, ponieważ te nowe dane dostarczają dodatkowych informacji do tradycyjnych poziomów PM10 i PM2.5, umożliwiając lepszą analizę zanieczyszczenia cząsteczkami i konstruowanie nowych urządzeń – określone działania oparte na wykrytym typie aerozolu (np. kurz domowy lub dym) [1].

Im mniejsze są cząstki, tym głębiej mogą przenikać przez nasz układ oddechowy i do krwiobiegu, co stanowi większe zagrożenie dla naszego zdrowia. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) uznała zawieszone w powietrzu cząstki stałe jako czynnik rakotwórczy i jako największe zagrożenie środowiska dla zdrowia. Są one odpowiedzialne za około jednego na dziewięć zgonów rocznie [1].

Historycznie wartości PM były mierzone w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  jako „stężenie masowe” (*mass concentration*). Powodem tego jest to, że tradycyjnym i najdokładniejszym sposobem pomiaru PM jest metoda grawimetryczna. Ta procedura wykorzystuje wstępnie zważony filtr do zbierania cząstek otoczenia, które są mechanicznie sortowane na podstawie ich wielkości (np. wpuszczane są wszystkie cząstki

poniżej  $2,5 \mu\text{m}$ ). Na koniec okresu pobierania próbek, zwykle 24 godziny, filtr jest ważony w celu ustalenia całkowitej skumulowanej masy cząstek stałych w  $\mu\text{g}$ . Następnie uzyskuje się stężenie masowe, dzieląc wzrost masy filtra przez 24-godzinny całkowity objętość powietrza, które przepłynęło przez filtr, uzyskując wartość w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Chociaż metody grawimetryczne od dawna są uznawane za najdokładniejszy sposób określania stężenia masy, mają one pewne praktyczne ograniczenia w ich codziennych zastosowaniach: urządzenia są duże, bardzo drogie, wykonują pomiar tylko jednego rodzaju PM, nie jest możliwy pomiar w czasie rzeczywistym oraz nie jest możliwe zliczanie cząstek.

Z tych powodów optyczne liczniki cząstek w czasie rzeczywistym (OPC, *optical particle counters*) stopniowo wkraczają na rynek monitorowania jakości powietrza. Instrumenty te oparte są na różnych zasadach optycznych, zwykle rozpraszania (*scattering*) lub absorpcji, przy czym najczęściej stosuje się rozpraszanie światła. W tych OPC cząstka przechodzi przez światło (zwykle wiązkę laserową) i powoduje rozproszenie (lub absorpcję) przychodzącego światła, które jest następnie wykrywane przez fotodiodę i przekształcane w liczbę cząstek w czasie rzeczywistym i wartości stężenia masy. Wysoka wilgotność powietrza może mieć wpływ na rozmiar detekowanych cząstek.

Wykrywanie optyczne jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną techniką ze względu na łatwość użycia i niezrównany stosunek kosztów do wydajności. W ostatnich latach OPC stały się na tyle małe, że można je zintegrować z klimatyzatorami, monitorami jakości powietrza i oczyszczaczami powietrza. Są używane do regulacji i kontroli jakości powietrza w domach, samochodach i na zewnątrz.

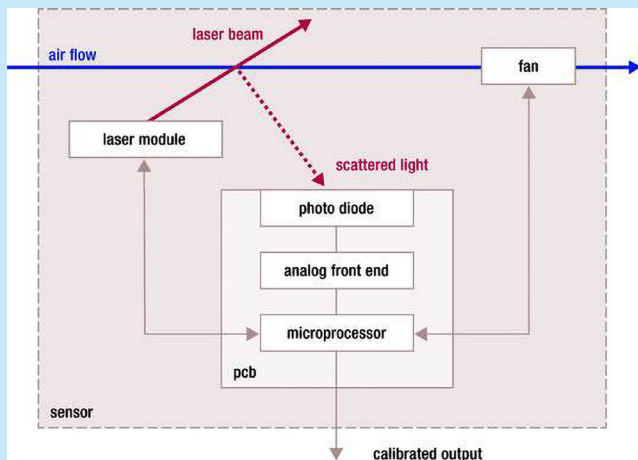
Chociaż podstawowa zasada OPC może początkowo wydawać się prosta z punktu widzenia implementacji, nie wszystkie OPC działają w ten sam sposób, a jakość ich pomiaru zależy w dużej mierze od konstrukcji takich urządzeń. Zasada optyczna działa bardzo dobrze w zliczaniu cząstek, ale ponieważ urządzenia te są używane głównie do szacowania stężenia masy cząstek stałych, będą one podatne na błędy oszacowania ze względu na różne właściwości optyczne cząstek (np. kształt i kolor) i różne gęstości masy. Jakość oszacowania będzie się zatem bardzo różnić w zależności od algorytmu producenta zastosowanego do konwersji zmierzonego sygnału optycznego na stężenie masy PM. Dodatkowo, konstrukcja urządzenia ma bardzo duży wpływ na dokładność i dryft pomiarów, ponieważ cząsteczki mogą łatwo gromadzić się na elementach optycznych (laser, fotodioda, pochłaniacz wiązki) i powodować degradowanie działania.

### Czujnik pomiaru pyłów SPS30 firmy Sensirion

SPS30 (*Sensirion Particulate Matter Sensor*) to kompaktowy, wysokiej jakości optyczny czujnik cząstek, który wykorzystuje rozpraszanie laserowe i innowacyjną technologię odporności na zanieczyszczenia firmy Sensirion w celu uzyskania doskonałego określenia przedziałów pomiarowych frakcji pyłów (**fotografia 1**). SPS30 to pierwszy na rynku optyczny licznik cząstek w czasie rzeczywistym i pierwszy na rynku masowy czujnik cząstek stałych, który otrzymał certyfikat MCERTS [5]. Przeszedł testy laboratoryjne i terenowe, w których udowodniono, że spełnia najnowsze europejskie normy jakości powietrza DIN EN 15267.



**Fotografia 1. Czujnik SPS30 firmy Sensirion [5]**



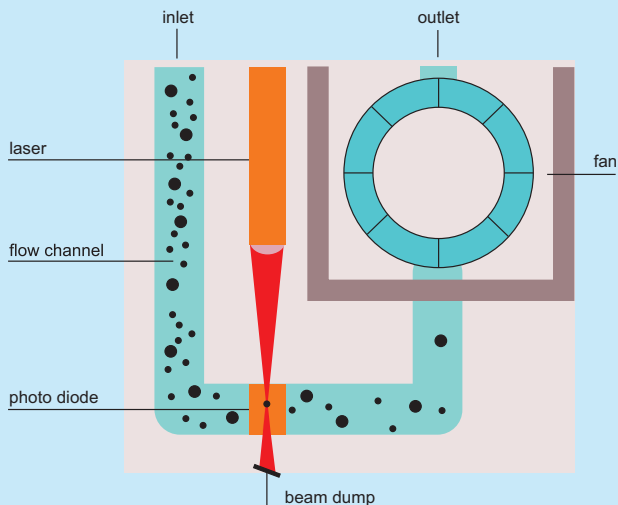
Rysunek 2. Schemat blokowy czujnika SPS30 firmy Sensirion [1]

### Parametry czujnika SPS30

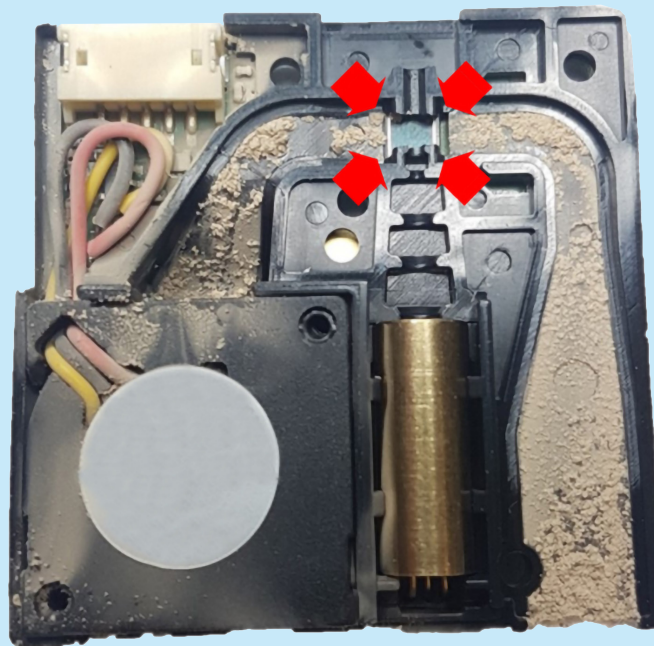
- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów:
  - \*Stężenie masowe: PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10
  - \*Stężenie liczbowe: PM0.5, PM1.0, PM2.5, PM4 oraz PM10
- Minimalny rozmiar wykrywanych cząstek: 0,3  $\mu\text{m}$
- Zakres stężenia masy: 1...1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dokładność stężenia masy (dla PM2,5 przy 25°C):
  - $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  przy 0...100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - $\pm 10\%$  przy 100...1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Zakres temperatur pracy: -10...+60°C
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...95%RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Minimalny interwał próbkowania: 1 s (tryb ciągły)
- Czas pracy: > 8 lat działania nieprzerwanie 24 godziny na dobę
- Hałas emitowany (0,2 m): 25 dB(A)
- Wymiary: 40,6×40,6×12,2 mm
- Waga: 26 g
- Napięcie zasilania: 4,5...5,5 V
- Średni prąd zasilania (częstotliwości pomiaru 1 Hz): <60 mA
- Maksymalny prąd (pierwsze 200 ms po starcie pomiaru): 80 mA
- Prąd uśpienia: <8 mA
- Interfejs cyfrowy: UART oraz I<sup>2</sup>C.

### Zasada działania czujnika SPS30 z rozpraszaniem laserowym

Zasada działania układu SPS30 firmy Sensirion opiera się na rozpraszaniu laserowym. Kontrolowany przepływ powietrza jest



Rysunek 3. Zasada działania czujnika pyłów SPS30 firmy Sensirion [1]

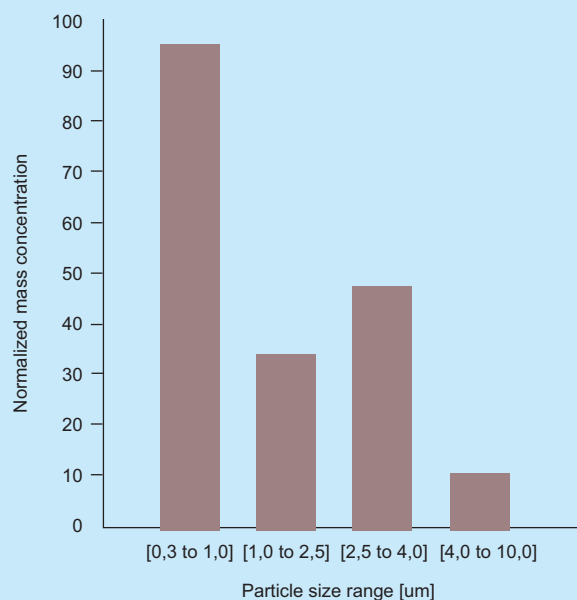


Fotografia 2. Budowa wewnętrzna czujnika SPS30 firmy Sensirion (po teście pracy 5 lat) [1]

wytwarzany wewnątrz czujnika za pomocą wentylatora. Jak pokazano na **rysunku 2**, wewnętrzna pętla sprzężenia zwrotnego między mikroprocesorem a wentylatorem stabilizuje prędkość wentylatora, a tym samym przepływ powietrza przez czujnik. Pyły środowiska przemieszczają się wewnątrz czujnika od wlotu do wylotu, przenoszone przez przepływ powietrza (czarne kropki na **rysunku 3**). Cząsteczki w strumieniu powietrza przechodzą przez skupioną wiązkę laserową, jak pokazano na czerwono na rysunku 3, powodując rozproszenie światła. Rozproszone światło jest następnie wykrywane przez fotodiodę i przekształcane na wyjściowe stężenie masy oraz liczbę cząstek za pomocą zastrzeżonych algorytmów firmy Sensirion, które działają na wewnętrznym mikrokontrolerze. Widok wnętrza czujnika SPS30 został pokazany na **fotografii 2**.

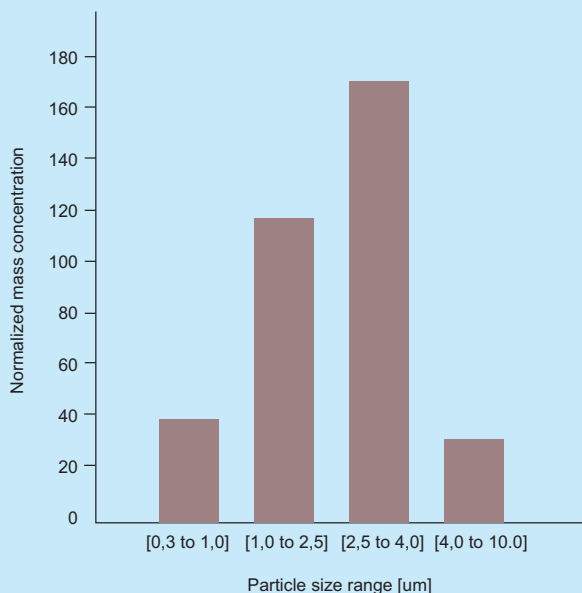
### Rozpoznawanie składu cząstek przez czujnik SPS30

Jak wspomniano powyżej, algorytmy producenta, wraz z odpowiednią konstrukcją elektroniki czujnika SPS30, stanowią zasadniczą



Rysunek 4. Przykładowy skład cząstek dymu [1]





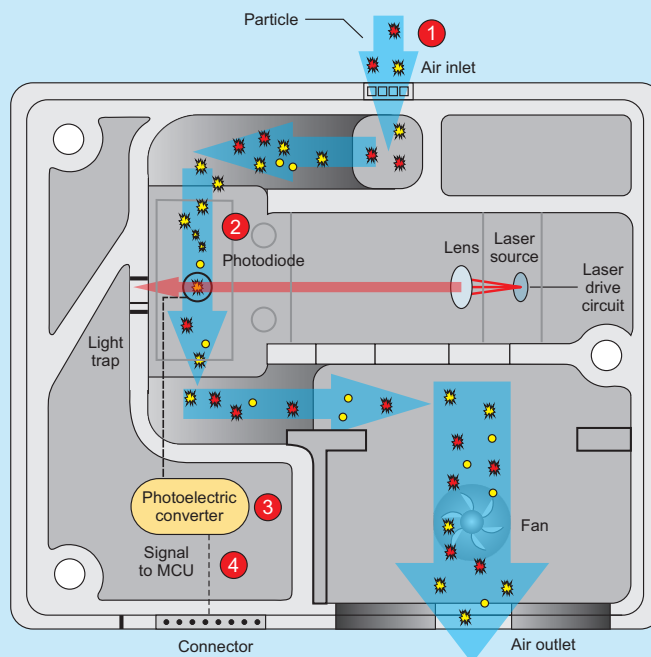
Rysunek 5. Przykładowy skład cząstek ciężkiego pyłu [1]

zaletę w szacowaniu stężenia masy na podstawie wykrytego rozproszonego światła. Większość niedrogich czujników PM na rynku zakłada stałą gęstość masy podczas kalibracji i oblicza stężenie masy poprzez pomnożenie wykrytej liczby cząstek przez tę gęstość masy. To założenie działa tylko wtedy, gdy czujnik mierzy jeden rodzaj cząstek (na przykład dym tytoniowy), ale w rzeczywistości znajdujemy wiele różnych rodzajów cząstek o różnych właściwościach optycznych w życiu codziennym, od „ciężkiego” pyłu domowego (rysunek 5) do „lekkich” cząstek spalania (rysunek 4). Zastrzeżone algorytmy firmy Sensirion wykorzystują zaawansowane podejście, które pozwala na właściwe oszacowanie stężenia masy, niezależnie od mierzonego rodzaju cząstek. Dodatkowo, takie podejście umożliwia prawidłowe oszacowanie przedziału pomiarowego frakcji pyłów. Ponadto, w odróżnieniu od większości najnowocześniejszych konsumenckich czujników PM dostępnych na rynku, zapewniono dodatkowy pomiar frakcji PM4.0.

Zwiększona dokładność dla różnych aerozoli i wyższa liczba przedziałów pomiarowych frakcji pyłów pozwalają użytkownikom opracowywać nowe przypadki użycia w oparciu o rozpoznawanie składu cząstek. Na rysunku 4 oraz rysunku 5 został pokazany praktyczny przykład takiego działania przy użyciu oprogramowania Control Center firmy Sensirion. Wykresy słupkowe pokazują zmierzone w czasie rzeczywistym za pomocą SPS30 przedziały stężenia masy. Na rysunku 4 został pokazany pomiar dymu, wyraźnie bogatszy w mniejsze cząsteczki. Na rysunku 5 został pokazany pomiar pyłu z Arizony, wyraźnie bogatszy w większe cząstki.

### Odporność na kurz czujnika SPS30

Standardowy czujnik PM jest bardzo podatny na dryft (zmniejszanie) wartości pomiarowej z powodu gromadzenia się pyłu na kluczowych elementach optycznych urządzenia, a mianowicie na laserze, fotodiodzie i pochłaniaczu wiązki (*beam-dump*), używanego do pochłaniania światła lasera. W oparciu o ponad 20-letnie doświadczenie w projektowaniu czujników przepływu dla kilku wymagających rynków i aplikacji (np. motoryzacyjnych, medycznych, przemysłowych i inteligentnej energii), inżynierowie firmy Sensirion opracowali i zintegrowali innowacyjną i zastrzeżoną technologię ścieżki przepływu w układzie SPS30, która zapobiega gromadzeniu się kurzu i brudu na elementach optycznych. Na fotografii 2 został pokazany wynik testu w warunkach skrajnych, w którym czujnik jest narażony na ekwiwalent pięcioletniej ekspozycji na pył w Pekinie. Wyraźnie widoczna jest czysta komora pomiarowa po teście zaznaczona strzałkami.



Rysunek 6. Zasada działania czujnika pyłów serii HPMA115 firmy Honeywell [6]

Bardzo ładny opis rezultatu rozbierania czujnika SPS30 jest zamieszczony w Internecie [19]. Pod zieloną plastikową pokrywką (fotografia 1) jest umieszczony filtr Hepa. Poprzez niego jest zasysane czyste powietrze, które przez otwory w płytce drukowanej jest podawane na fotodiodę. W ten sposób pozostaje ona czysta. Następnym istotnym elementem konstrukcyjnym jest kształt gładkiego kanału dolotowego powietrza (fotografia 2, po prawej), który wymusza laminarny przepływ powietrza w komorze pomiarowej. Zdecydowanie poprawia to dokładność pomiaru pojedynczych cząstek.

### Czujniki serii HPMA115 firmy Honeywell

HPM Series Partic Matter Sensor to czujniki laserowe, które wykrywają cząsteczki za pomocą rozpraszania światła (rysunek 6). Laserowe źródło światła oświetla wiązką cząstki (1), gdy te przelatują przez komorę wykrywania (2). Światło odbija się od cząstek i jest rejestrowane przez detektor światła. Światło jest następnie przekształcane na sygnał elektryczny (3) w celu obliczenia stężenia cząstek (4). Zmiany natężenia światła rejestrowane przez fotodetektor są analizowane przez inteligentny algorytm firmowy w celu ustalenia stężenia masowego dla poszczególnych wielkości cząstek.

Dostępne są trzy czujniki w serii HPM:

- HPMA115S0-XXX – standardowy (duży) rozmiar 43×36×23,7 mm i pomiar tylko PM2.5.
- HPMA115C0-003 – kompaktowy rozmiar 44×36×12 mm, wlot i wylot powietrza po tej samej stronie obudowy.
- HPMA115C0-004 – Kompaktowy rozmiar, takie same parametry jak modelu 003, wlot i wylot powietrza po przeciwnej stronie obudowy.
- HPMA115C0-003/004 – czujnik cząstek stałych o kompaktowym rozmiarze, z wyjściem UART. Układ jest fabrycznie w pełni skalibrowany, ma wykonanie przemysłowe z dobrym zabezpieczeniem elektromagnetycznym.

### Parametry czujnika HPMA115C0

- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: Stężenie masowe: PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10
- Zakres stężenia masy: 0...1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dokładność stężenia masy:

- dla zakresu  $0...1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM2.5),  $\pm 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM1.0, PM4.0, PM10)
- dla zakresu  $100...1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $\pm 15\%$  (PM2.5),  $\pm 25\%$  (PM1.0, PM4.0, PM10)
- Zakres temperaturowy pracy:  $-20...+70^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0 to 95% RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Czas reakcji:  $< 6 \text{ s}$
- Czas pracy: 10 lat działania ciągłego
- Wymiary:  $44 \times 36 \times 12 \text{ mm}$
- Napięcie zasilania:  $5 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$
- Średni prąd zasilania:  $< 80 \text{ mA}$
- Maksymalny prąd włączania:  $600 \text{ mA}$
- Prąd uśpienia:  $< 20 \text{ mA}$
- Interfejs cyfrowy: UART.

### Czujniki serii SDS firmy Nova Fitness

Czujnik SDS 011 jest całkiem nowym czujnikiem jakości powietrza opracowanym przez Nova Fitness, firmę wydzieloną z uniwersytetu Jinan (w Shandong). Ze względu na swój rozmiar jest prawdopodobnie jednym z najlepszych czujników pod względem dokładności. Gdy konstrukcja innych czujników zwykle koncentruje się na zmniejszaniu ich rozmiarów, to w przypadku czujnika SDS011 zdecydowano się na kompromis w zakresie wielkości, który pozwala na użycie większego wentylatora. Im większy wentylator, tym lepsza jakość. Następną wersją jest czujnik SDS018 o parametrach bardzo podobnych przy obniżonym poborze mocy podczas pracy. Najnowsza wersja nazywa się SDS21 i ma zmniejszoną obudowę do  $42,5 \times 32 \times 24,5 \text{ mm}$  oraz te same parametry.

#### Czujnik SDS011 firmy Nova Fitness

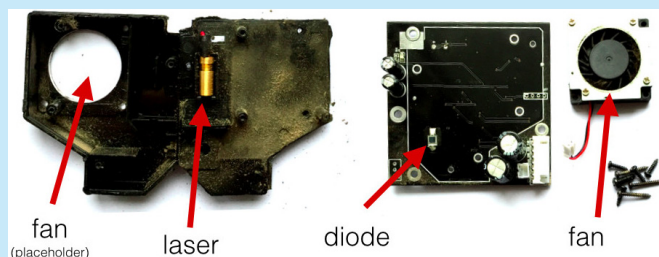
Nova Fitness SDS011 to laserowy czujnik zanieczyszczeń powietrza cząsteczkami PM2.5 oraz PM10 [8]. Pozwala na precyzyjną analizę ilości zanieczyszczeń w otoczeniu, ma niewielkie wymiary i wbudowany cichy wentylator przetwarzający (fotografia 3). Dane wyprowadzane są na interfejs UART oraz za pośrednictwem sygnału PWM.

Czujnik jest wyposażony w wysokiej klasy diodę laserową, która ma żywotność określoną na około 8000 roboczogodzin. W trybie standardowym (czasie rzeczywistym) czujnik dokonuje pomiaru co 1 sekundę, dioda laserowa oraz wentylator pracują cały czas. Czujnik można wprowadzić w tryb uśpienia, w którym dioda i wentylator będą wyłączane na określony czas, pozwoli to znacznie wydłużyć żywotność lasera oraz wentylatora.

Czujnik SDS011 pozwala na podłączenie wlotu powietrza wężykiem. Według specyfikacji zalecany jest przewód o średnicy wewnętrznej 6 mm, zewnętrznej 8 mm. Maksymalna jego długość może wynosić 1 m. Jednakże im jest on krótszy, tym lepiej.



Fotografia 3. Czujnik SDS011 firmy Nova Fitness [9]



Rysunek 7. Budowa wnętrza czujnika SDS011 firmy Nova Fitness [10]

SDS011 ma sprytną konstrukcję z wykorzystaniem płytki drukowanej jako jednej strony obudowy (rysunek 7). Fotodioda jest zamontowana po stronie płytki drukowanej, jest to konieczne, ponieważ należy unikać wszelkiego szumu między diodą i wzmacniaczem niskoszumowym. Laser jest zamontowany na plastikowym pudełku i podłączony do PCB za pomocą przewodu. Z przodu znajduje się wentylator (fan), który zasysa powietrze i tym samym kieruje cząsteczkami przez labirynt obok diody laserowej. Pomiar odbywa się metodą zwaną rozpraszaniem laserowym [10].

Największym problemem związanym z tą konstrukcją jest to, że cały czujnik jest bardzo zakurzony, jak pokazano na rysunku 7 po ponad 6 miesiącach ciągłej pracy. Nie jest to wcale takie złe, ponieważ pył nie gromadził się na diodzie ani na froncie lasera. Jeśli chodzi o wentylator, gromadzenie się pyłu jest „normalnym zachowaniem” widocznym również w innych konstrukcjach.

#### Parametry czujnika SDS011

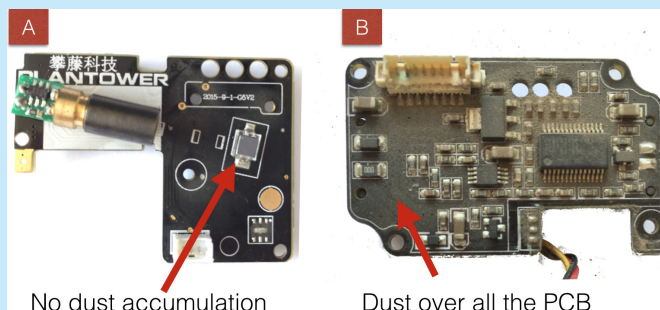
- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: stężenie masowe PM2.5 i PM10
- Minimalny rozmiar wykrywanych cząstek:  $0,3 \mu\text{m}$
- Zakres stężenia masy:  $1...999,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy:  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Skuteczność detekcji:  $70\% @ 0,3 \mu\text{m}$ ,  $98\% @ 0,5 \mu\text{m}$
- Maksymalny błąd względny:  $\pm 15\%$  i  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dokładność pomiaru:  $70\%$  dla  $0,3 \mu\text{m}$ ;  $98\%$  dla  $0,5 \mu\text{m}$
- Zakres temperaturowy pracy:  $-20...50^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy:  $0...70\%$  RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Częstotliwość pomiarów:  $1 \text{ Hz}$
- Czas odpowiedzi:  $1 \text{ s}$
- Wymiary:  $71 \times 70 \times 23 \text{ mm}$
- Waga:  $26 \text{ g}$
- Napięcie zasilania:  $5 \text{ V}$  ( $4,7...5,3 \text{ V}$ )
- Pobór prądu (praca):  $70 \text{ mA} \pm 10 \text{ mA}$
- Pobór prądu (uśpienie lasera i wentylatora):  $< 4 \text{ mA}$
- Maksymalny pobór prądu w trakcie pracy:  $220 \text{ mA}$
- Pobór prądu w trakcie spoczynku:  $2 \text{ mA}$
- Interfejs cyfrowy: UART oraz PWM.

### Czujniki serii PMS firmy Plantower

Chińska firma Plantower produkuje czujniki pyłów coraz nowszych generacji. Najnowszy jest czujnik PMS7003 generacji siódmej. Popularne są czujniki poprzednich generacji np. PMS5003 o nieco większej obudowie  $50 \times 38 \times 21 \text{ mm}$  oraz podobnych parametrach.

**PMS7003 firmy Plantower** – laserowy czujnik zanieczyszczeń powietrza cząsteczkami PM1.0, PM2.5 oraz PM10. Pozwala na precyzyjną analizę ilości zanieczyszczeń w otoczeniu, ma niewielkie wymiary i wbudowany cichy wentylator przetwarzający [11].

Zdjęcia na rysunku 8 pochodzą z PMS5003 działającego przez kilka miesięcy na zewnątrz w trybie ciągłym [12]. Firmie Plantower udało się wykonać całkiem niezłą konstrukcję mechaniczną, która zapobiega gromadzeniu się pyłu na przedniej stronie płytki



Rysunek 8. Widok wnętrza czujnika PMS5003 firmy Plantower [12]

drukowanej (rysunek A), gdzie zamontowano laser i diodę. Gwarantuje to dobrą żywotność i dokładność danych w czasie.

#### Parametry czujnika PMS 7003

- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Mierzone parametry: Stężenie masowe PM1.0, PM2.5 i PM10
- Zakres pomiarów: 0...999,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Minimalny wykrywalny rozmiar cząstki: 0,3  $\mu\text{m}$
- Maksymalny błąd względny:  $\pm 15\%$  i  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Skuteczność detekcji: 50% @ 0,3  $\mu\text{m}$ , 98%  $\geq 0,5 \mu\text{m}$
- Zakres temperaturowy pracy:  $-10...60^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...99%RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Napięcie zasilania: 5 V
- Napięcie interfejsu: 3,3 V
- Maksymalny pobór prądu w trakcie pracy: 100 mA
- Pobór prądu (tryb uśpienia):  $< 200 \mu\text{A}$
- Czas odpowiedzi: 1 s
- Częstotliwość pomiarów: 1 Hz
- Wymiary: 48×37×12 mm
- Waga: 27 g
- Interfejs cyfrowy: UART.

### Czujniki serii Telaire Dust Sensors firmy Amphenol

Firma Amphenol oferuje wiele czujników w serii Telaire w tym czujniki  $\text{CO}_2$ , wilgotności względnej oraz pyłów. Czujniki pyłu obejmują układy z wyjściem PWM lub UART. Produkty Telaire są stosowane w instalacjach wentylacyjnych budynków komercyjnych i mieszkalnych, urządzeniach zapewniających jakość powietrza konsumpcyjnego w domu i kontrolujących warunki jakości powietrza w samochodach.

**Czujnik Telaire SM-UART-04L** – to laserowy czujnik cząstek stałych PM2.5. Wykrywa stężenie cząstek pyłu w powietrzu za pomocą optycznej metody wykrywania [18]. Laserowa dioda elektroluminescencyjna (laserowa dioda LED) i czujnik fotoelektryczny



Fotografia 4. Czujnik Telaire SM-UART-04L firmy Amphenol [18]

są umieszczone optycznie w urządzeniu (fotografia 4). Czujnik fotoelektryczny wykrywa odbite światło laserowe LED przez cząsteczki kurzu w powietrzu. Czujnik pyłu może wykryć małe cząsteczki z dużego kurzu domowego na podstawie impulsu sygnału wyjściowego.

#### Parametry czujnika SM-UART-04L

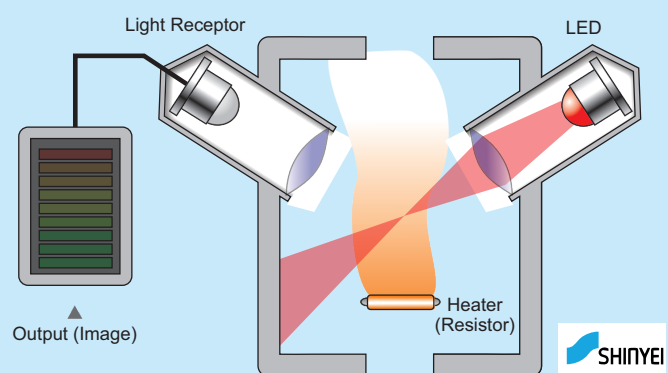
- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Mierzone parametry: Stężenie masowe PM2.5 (PM10 wyliczany)
- Zakres pomiarów: 0...999,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Maksymalny błąd pomiaru:  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1...100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\pm 10\%$  (100 ~ 999  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- Skuteczność detekcji: 50% @ 0,3  $\mu\text{m}$ , 98%  $\geq 0,5 \mu\text{m}$
- Zakres temperaturowy pracy:  $-10...50^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...95% RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Napięcie zasilania: 5 V ( $\pm 0,2$  V)
- Pobór prądu w trakcie pracy: 60 mA (typ.), 100 mA max.
- Pobór prądu (tryb uśpienia):  $< 200 \mu\text{A}$
- Czas odpowiedzi: 1 s
- Czas nagrzewania: 5 s
- Czas pracy (przed ponowną kalibracją): 40000 godz. (średnio)
- Częstotliwość pomiarów: 1 Hz
- Wymiary: 46×37×12 mm
- Waga: 27 g
- Interfejs cyfrowy: UART (3,3 V).

### Czujniki serii GP2Y10xxAU0F firmy Sharp

Czujnik GP2Y1010AU0F firmy Sharp jest nietypowy w zestawie, ponieważ ma tylko wyjście analogowe sygnału. Jednak jest to jeden z pierwszych czujników pyłów, nadal chętnie stosowany i ma wiele odmian nowszych generacji [13]. Jest oferowanych wiele wersji z numerami 1010, 1012, 1014 (wyjście analogowe) oraz 1023, 1026, 1030, 1050, 1051 z wyjściem cyfrowym. Wersja 10151 podaje pomiary PM2.5 [14]. Na portalu Alibaba można zakupić zestawy czujnika z serii GP2Y10xx uzupełnionego o układ mikroprocesorowy z wyświetlaczem, co umożliwi konstrukcję całego urządzenia.

#### Zasada działania czujników serii GP2Y10xx z rozpraszaniem podczerwonym IRED

GP2Y10xxAU0F jest optycznym czujnikiem jakości powietrza, zaprojektowanym do wykrywania bardzo drobnych cząstek. Dioda emitująca podczerwień i fototranzystor są umieszczone po przekątnej (rysunek 9). Światło emitowane przez diodę podczerwoną (IRED) odbija się od cząstek przechodzących przez komorę pomiarową. Jest ono odbierane przez fotodiodę (PD) i przekształcane w napięcie. Napięcie jest podawane na wzmacniacz (rysunek 10). Czułość zależy od rezystora  $R_s$  w obwodzie wzmacniacza. Czujnik doskonale nadaje



Rysunek 9. Zasada działania czujnika pyłów GP2Y1010AU0F firmy Sharp [13]



się do wykrywania np. dymu z papierosa i jest powszechnie używany w systemach oczyszczania powietrza.

#### Parametry czujnika GP2Y1010AU0F

- Zasada działania: Rozpraszanie podczerwone IRED
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: Wykrywa cząsteczki o średnicy >0,8 μm
- Zakres stężenia masy: 0...600 μg/m<sup>3</sup>
- Rozdzielczość stężenia masy: 0,5 V/(100 μg/m<sup>3</sup>) typ.
- Zakres temperaturowy pracy: -10...+60°C
- Napięcie zasilania: 5 V ±0,5 V
- Średni prąd zasilania: 11 mA typ.
- Prąd diody IRED LED: 10 mA typ.
- Maksymalny prąd: 20 mA
- Interfejs cyfrowy: brak, wyjście analogowe
- Wymiary: 46×30×17,6 mm.

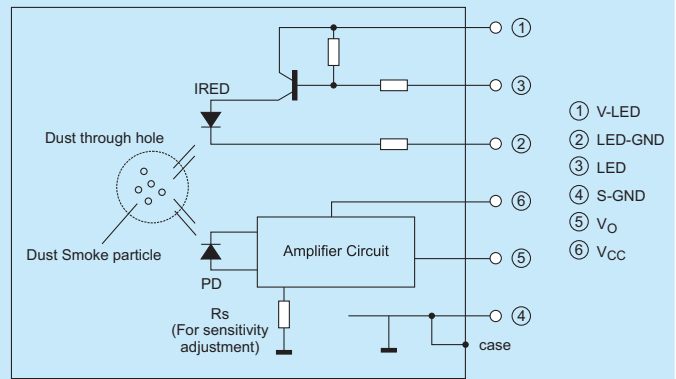
#### Parametry czujnika GP2Y1051AU0F

- Zasada działania: Rozpraszanie podczerwone IRED
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: PM2.5
- Zakres stężenia masy: 1...500 μg/m<sup>3</sup>
- Rozdzielczość stężenia masy: 0,35 V/(100 μg/m<sup>3</sup>) typ.
- Zakres temperaturowy pracy: -10...+65°C
- Napięcie zasilania: 5 V ±0,2 V
- Średni prąd zasilania : 15 mA typ.
- Interfejs cyfrowy: UART 2400 b/s
- Wymiary: 46×36×17,6 mm.

### Czujniki serii PPD firmy Shinyei Technology

Czujniki produkowane przez japońską firmę Shinyei Technology wykorzystują zasadę działania podobną jak w przypadku układów firmy Sharp. Obecnie oferowane są cztery modele czujników: PPD20V (wyjście napięciowe), PPD42NJ (dwa wyjścia impulsowe), PPD60PV-T2 (wyjście impulsowe) oraz PPD71 (wyjście UART). Na rynku jest dostępna kopia czujnika PPD42 produkowana przez koreańską firmę Samyoung pod nazwą DSM501 [4].

**Czujnik PPD42 firmy Shinyei** – to japoński czujnik czystości powietrza bazujący na diodzie podczerwonej PPD42. Jest to relatywnie tani czujnik czystości powietrza. Zamiast diody laserowej, używa diody podczerwonej. Komunikuje się w dość prosty sposób, podając poziom zapylenia w postaci sygnału PWM [15]. Rozbiórka czujnika PPD42NS dokonana w roku 2016 pokazała, że został zastosowany bardzo prosty układ analogowy



Rysunek 10. Schemat blokowy czujnika pyłów GP2Y1010AU0F firmy Sharp [13]

z progowaniem amplitudy impulsów analogowych na obu wyjściach cyfrowych [17].

#### Parametry czujnika PPD42NS/ PPD42NJ

- Zasada działania: Rozpraszanie podczerwone IRED
- Minimalny wykrywalny rozmiar cząstki: 1 μm
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...95% RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Napięcie zasilania: 5 V (4,75...5,75V)
- Wymiary: 59×45×22 mm
- Waga: 24 g
- Interfejs cyfrowy: wyjście PWM.

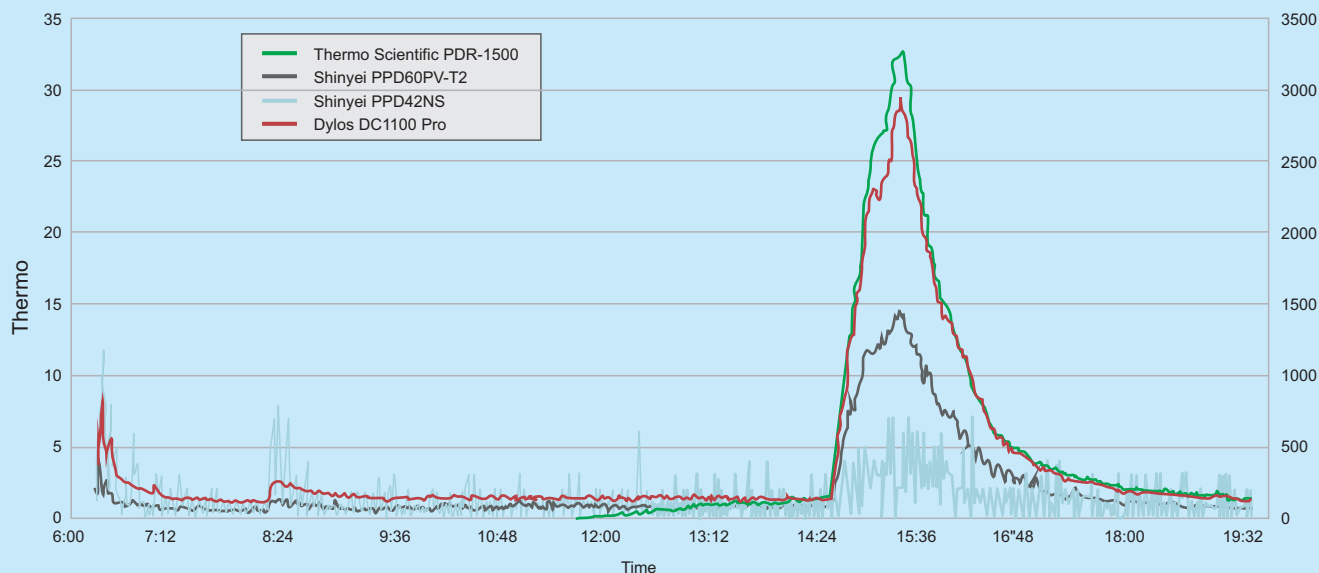
#### Praca czujnika PPD42NS

Przeprowadzone próby pokazują, że czujnik PPD42NS reaguje na cząstki o średnicy 2 mikronów i większej, gdy usunięte zostaną problemy z przepływem powietrza i interferencją światła zewnętrznego [16]. W przeprowadzonym teście została porównana praca taniego czujnika Shinyei PPD42NS z droższym czujnikiem Shinyei PPD60PV-T2, Dylos DC1100 Pro oraz Thermo Fisher Scientific pDR-1500. Rezultaty zostały pokazane na **rysunku 11**. Czujnik PPD42NS reaguje na zmiany poziomu pyłów zgodnie z innymi czujnikami, ale poziom (zakres dynamiczny) jego odpowiedzi jest słaby, a jego niefiltrowany sygnał jest bardzo zaszumiony. Czujnik PPD60PV-T2 może wykrywać mniejsze cząsteczki przy znacznie mniejszym poziomie szumu. Ale poziom jego odpowiedzi jest również zanizony.

#### Literatura

- [1] Particulate Matter Sensing for Air Quality Measurements, Livio Lattanzio, Sensirion, <https://bit.ly/2XygRhc>
- [2] Aerozole atmosferyczne, Wikipedia, 4 lutego 2020, <https://bit.ly/2X7oAUv>
- [3] Particle Sensor Comparison 2019, 17.09.2019, System Plus Consulting, <https://bit.ly/2ZIVFaY>
- [4] Sensing the Air Quality: Research on Air Quality Sensors, Overview of Air Quality sensors experiments, World Air Quality, <https://bit.ly/3ddzwWm>
- [5] Particulate Matter Sensor SPS30, Sensirion, <https://bit.ly/2XzxSHO>
- [6] HPM Series Particulate Matter Sensors, Data Sheet, 05.2019, Haneywell, <https://bit.ly/2XAWbFs>
- [7] HPM Series Particulate Matter Sensors, Sell Sheet, 05.2019, Haneywell, <https://bit.ly/2TMuAQk>
- [8] Nova Fitness SDS011 – Laserowy czujnik pyłu/czystości powietrza UART/PWM PM2.5, Kamami, <https://bit.ly/3ellYbg>
- [9] Czujnik pyłu zawieszonego Nova Fitness SDS011, Nettigo, <https://bit.ly/2zCY78k>
- [10] The SDS011 Air Quality Sensor experiment, <https://bit.ly/3c8WoF3>
- [11] Plantower PMS7003 – laserowy czujnik pyłu, Kamami, <https://bit.ly/3d8ruhq>
- [12] The Plantower PMS5003 and PMS7003 Air Quality Sensor experiment, <https://bit.ly/2B7oUKh>
- [13] Sensor Workshop at ITP, Reports/GP2Y1010 AU, ITP Sensor Workshop Wiki, <https://bit.ly/2U2fRrH>
- [14] GP2Y1050AU0F – Optyczny czujnik dymu/kurzu SHARP, Kamami, <https://bit.ly/3esxX7a>
- [15] Czujnik pyłu zawieszonego Shinyei, Nettigo, <https://bit.ly/3ejpVgK>
- [16] Make Your Own AirCasting Particle Monitor, Michael Heimbinde, 05 Oct 2013, HabitatMap, <https://bit.ly/3c4JMi8>
- [17] Shinyei PPD42NS\_Deconstruction\_TracyAllen.pdf, 30 Oct 2016, <https://bit.ly/36zZVeo>
- [18] Telaire, CO<sub>2</sub>, Humidity & Dust Sensors, Amphenol, <https://bit.ly/2TMLm1j>
- [19] Teardown: Sensirion, 04.25.2019, Angela May, MistyWest, <https://bit.ly/2yDTPwU>

## Particle Intercomparison Test - Santa Rosa CA July 10, 2013



Rysunek 11. Porównanie pracy czujników pyłów [16]

**Podsumowanie**

Powyższy opis jest tylko wprowadzeniem do dziedziny pomiarów pyłów. Zostały przedstawione reprezentatywne układy scalone różnych producentów z interfejsem cyfrowym. Są jeszcze inne technologie pomiarów. Urządzenia profesjonalne, jak BAM-1020, stosują technologię tłumienia beta (BAM) z użyciem radioaktywnego izotopu węgla  $^{14}\text{C}$ , który emituje promieniowanie beta (elektrony). Ostatnio została opracowana nowa technologia: oscylująca mikrowąga oscylacyjna z elementem stożkowym (TOEM). Ale urządzenia z tymi technologiami są bardzo drogie i wymagają profesjonalnej obsługi [4].

Rynek czujników pyłów jest duży. Działa na nim wiele firm, szczególnie dalekowschodnich, takich jak Omron, Panasonic czy Seed. Światowi potentaci w produkcji czujników, jak Honeywell czy Sensirion, dostrzegli rynek czujników jakości powietrza i zaproponowali swoje produkty, znacznie lepsze niż producentów rdzennie chińskich. Można powiedzieć, że tanie czujniki bardziej przypominają pomiar nieprzezroczystości powietrza niż pyłów w porównaniu z czujnikami ze zliczaniem cząstek.

Odporność czujnika SPS30 na kurz i zaawansowane technologie kategoryzowania rozmiaru cząstek stanowią duże zalety w wielu

zastosowaniach, jak monitorowanie jakości powietrza, oczyszczacze powietrza i HVAC. Czujnik, który poprawnie działa przez cały okres użytkowania urządzenia, gwarantuje dobrą jakość powietrza końcowemu użytkownikowi oraz zwiększa efektywność energetyczną. Zwiększona liczba przedziałów pomiarowych frakcji pyłów i wyższa dokładność pomagają wykonywać określone działania w oparciu o wykrywany skład cząstek i poprawiają monitorowanie żywotności czujnika w oparciu o informacje o typie zanieczyszczenia zebrane podczas pracy urządzenia. Pomiary podczas testów czujnika SPS30 były przeprowadzone w Pekinie. Wyniki uzyskane w czasie rzeczywistym pokrywały się na 97% z wynikami z ambasady USA (BAM-1020) oddalonej około 1,4 km od ambasady Szwajcarii, gdzie zamontowano czujnik SPS30.

Obecnie rynek czujników pyłów jest napędzany głównie przez układy oczyszczania powietrza, wentylację i klimatyzację. Obniżenie ceny, wydłużenie czasu poprawnej pracy oraz zwiększenie łatwości użycia czujników pyłów spowoduje znaczący wzrost ich użycia w aplikacjach konsumenckich oraz IoT.

**Henryk A. Kowalski**  
Instytut Informatyki  
Politechnika Warszawska

Miesięcznik „Elektronika Praktyczna” (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.



**Wydawca:**  
AVT-Korporacja Sp. z o.o.  
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11  
tel.: 22 257 84 99, faks: 22 257 84 00

**Adres redakcji:**  
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11  
tel.: 22 257 84 60  
faks: 22 257 84 00  
e-mail: redakcja@ep.com.pl  
[www.ep.com.pl](http://www.ep.com.pl)

**Redaktor Naczelny:**  
Wiesław Marciniak

**Redaktor Programowy,  
Przewodniczący Rady Programowej:**  
Piotr Zbysiński

**Zastępca Redaktora Naczelnego,  
Redaktor Prowadzący:**  
Damian Sosnowski

**Zastępca Redaktora Naczelnego,  
Menedżer Magazynu**  
Marcin Karbownik

**Szef Pracowni Konstrukcyjnej:**  
Grzegorz Becker, tel.: 22 257 84 58

**Redaktor strony internetowej [www.ep.com.pl](http://www.ep.com.pl)**

Dariusz Welik

**Zespół marketingu i reklamy:**

Katarzyna Gugala, tel.: 22 257 84 64  
Bożena Krzykawska, tel.: 22 257 84 42  
Grzegorz Krzykawski, tel.: 22 257 84 60

**Sekretarz Redakcji:**

Grzegorz Krzykawski, tel.: 22 257 84 60

**DTP i okładka:**

MAD Sp. z o.o.

**Stali Współpracownicy:**

Jacek Bogusz, Lucjan Bryndza, Jarosław Doliński,  
Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński,  
Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński,  
Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Robert Wołgajew

**Uwaga!**

Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

**Prenumerata w Wydawnictwie AVT**

[www.avt.pl/prenumerata](http://www.avt.pl/prenumerata)

lub tel.: 22 257 84 22

e-mail: prenumerata@avt.pl

[www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl), tel.: 22 257 84 66



**Prenumerata w RUCH S.A.**

[www.prenumerata.ruch.com.pl](http://www.prenumerata.ruch.com.pl)

lub tel.: 801 800 803, 22 717 59 59

e-mail: prenumerata@ruch.com.pl



Wydawnictwo  
AVT-Korporacja Sp. z o.o.  
należy do **Izby Wydawców Prasy**

**Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.  
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11**

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczonych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w „Elektronice Praktycznej”.

