

Marian Banaś

Pomiar składu ziarnowego za pomocą Infrared Particle Sizer - L

. ANALIZATOR UZIARNIENIA IPS-L	2
1.1. WSTĘP	2
1.2. INSTALACJA SYSTEMU IPS-L	2
1.3. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA ANALIZATORA IPS-L	4
1.4. PODŁĄCZENIE ANALIZATORA	5
1.5. ZASADA DZIAŁANIA ANALIZATORA IPS-L	6
1.6. ZASADA POMIARU	8
1.7. ALGORYTM OPROGRAMOWANIA PRODUCENTA IPS-L	9
1.8. SPIS OZNACZEŃ DO OPISU SCHEMATÓW IPS-L	11

1. Analizator uziarnienia IPS-L

Opis analizatora uziarnienia opracowano na podstawie dokumentacji dostarczonej przez producenta – polską firmę KμK. Analizator znajdował się również w katalogu ofertowym specjalistycznej renomowanej firmy niemieckiej Fritch GmbH.

1.1. Wstęp

Analizator IPS-L jest urządzeniem laboratoryjnym służącym do automatycznego pomiaru wielkości cząstek stałych w wodzie, niezależnie od ich właściwości fizycznych i chemicznych. Zasada działania analizatora IPS-L polega na pomiarze zmian strumienia promieniowania podczerwonego, który jest rozpraszany przez poruszające się w strefie pomiaru cząstki. Zmiany strumienia promieniowania po obróbce elektronicznej rejestrowane są przez komputer. Po zakończeniu pomiaru danej próbki wyniki przedstawiane są za pomocą statystycznych parametrów zbioru, jak również rozkładów różnych właściwości cząstek.

Analizator składa się z czujnika pomiarowego, z którym zintegrowany jest elektroniczny układ automatycznego dozowania cząstek, zapewniający ciągłość pomiaru i kontrolę koncentracji cząstek w przestrzeni pomiarowej.

Elementem wykonawczym w układzie dozowania jest miniaturowa pompka odporna na zanieczyszczenia o specjalnej charakterystyce dopasowanej do pracy przy minimalnym przepływie wody.

1.2. Instalacja systemu IPS-L

Analizator IPS-L wymaga zasilania wodą. W zależności od jakości wody i sposobu zasilania może być stosowane dodatkowe wyposażenie przed analizatorem.

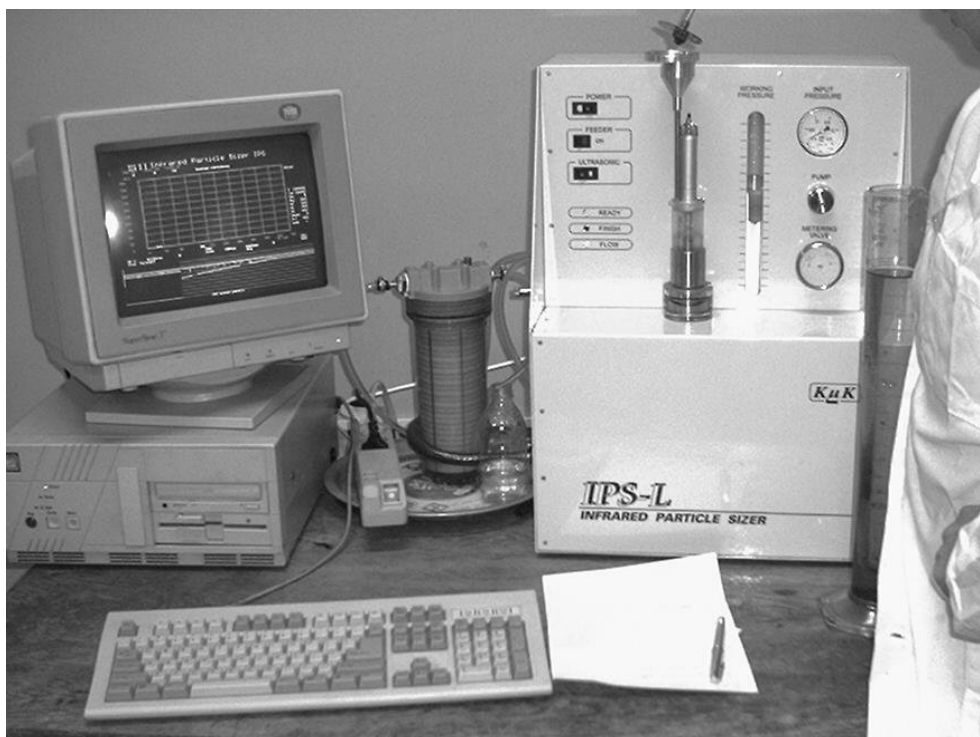


Rys. 1.1. Analizator uziarnienia IPS-L – widok ogólny

Analizator IPS-L jest połączony z bezpośrednio z nim działającym komputerem tworząc system IPS-L.

System IPS-L zawiera:

1. Analizator IPS-L składający się z sondy pomiarowej, układu dozującego i części elektronicznej z zasilaczem,
2. Kartę przetwornika A/C instalowaną w gnieździe ISA komputera,
3. Kabel BNC łączący wyjście analogowe analizatora IPS-L z w wejściem karty przetwornika A/C zainstalowanej w komputerze,
4. Kabel zasilający analizator IPS-L,
5. Kabel 25-żyłowy łączący wejście sterujące IPS-L z wyjściem sterującym karty przetwornika,
6. Komputer IBM PC PENTIUM (lub kompatybilny) z pamięcią operacyjną 32MB RAM, min 2 GB HDD, karta grafiki SVGA, stacja dyskietek 1 44 MB,
7. Program standardowy IPS-L dostarczony na dyskietce 3.5",
8. W zależności od przeznaczenia system IPS-L jest wyposażony w odpowiednie oprzyrządowanie oraz opcje oprogramowania.



Rys. 1.2. Analizator uziarnienia IPS-L – dozowanie próbki zawiesiny

1.3. Charakterystyka techniczna analizatora IPS-L

- | | |
|---|--|
| 1. Zakres pomiarowy | 0,5 do 600 μm , przełączany w 4 zakresach, |
| 2. Maksymalny wymiar powierzchni pomiarowej sondy | $3 \times 6 = 18 \text{ mm}^2$ |
| 3. Nierównomierność czułości powierzchni pomiarowej | 2,5%, |
| 4. Prędkość zliczania cząstek | teoretyczna powyżej 10000 cząstek na sekundę; praktyczna narzucona przez automatykę dozowania, |
| 5. Liczba klas wymiarowych | do 64 (krotność liczby 8) lub 256 |
| 6. Poziom i wzmocnienie sygnału wyjściowego | poziom zerowy sygnału oraz wzmocnienie utrzymywane automatycznie niezależnie od zmian źródła światła i innych czynników (np. zabrudzenia sondy), |
| 7. Źródło światła | dioda elektroluminescencyjna, emitująca promieniowanie podczerwone, |

8. Temperatura użytkowania	278 do 313 K,
9. Wymiary analizatora	530×140×450 mm,
10. Masa analizatora	12 kg,
11. Zasilanie	220 V AC, 50 Hz,
12. Komputer	Kompatybilny z IBM PC PENTIUM 200 MHz RAM 32 MB HDD min 2 GB FDD 1,44.

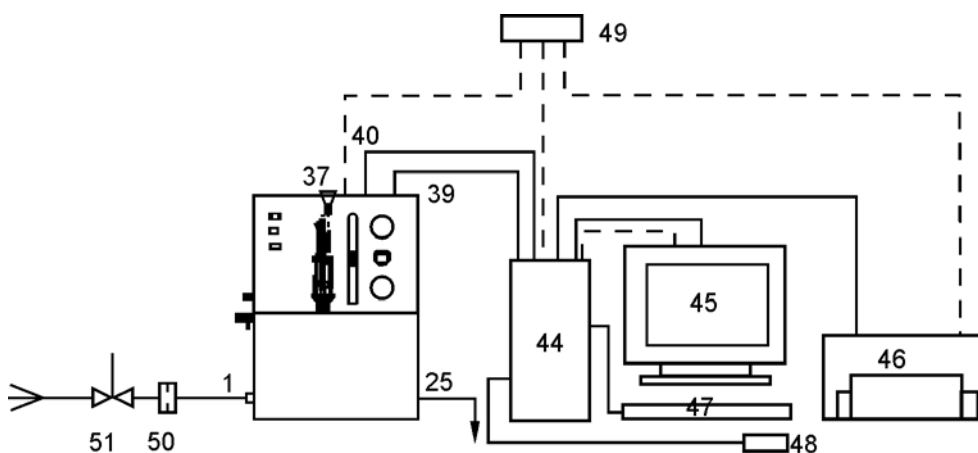
1.4. Podłączenie analizatora

Analizator IPS-L może być podłączony do instalacji wodnej po zapewnieniu podanych poniżej warunków pracy:

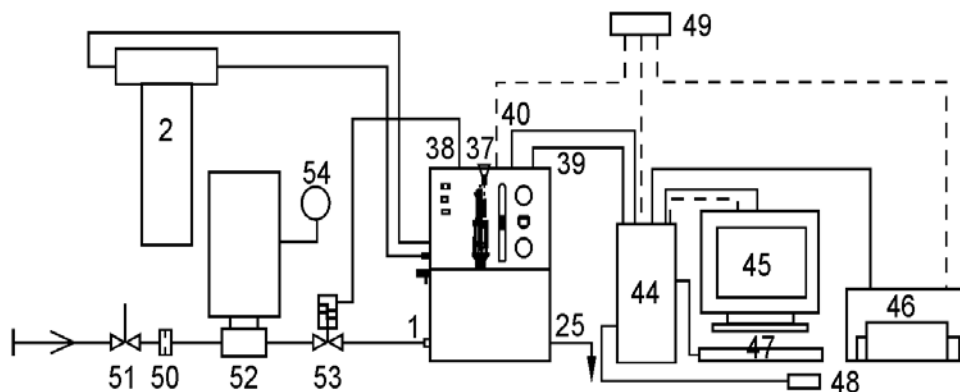
- Instalacja wodna powinna zapewnić wydatek nie większy niż 10 dm³/h przy ciśnieniu 0,3 MPa. Uzyskuje się to przez zastosowanie kryzy ϕ 1 mm.
- W przypadku wahań ciśnienia należy zastosować hydroakumulator o pojemności kilku dm³. Zawór elektromagnetyczny lub regulator przepływu stosowany przed IPS-L zabezpiecza dodatkowo przed zalaniem analizatora.
- Gdy woda ma dużą zawartość rozpuszczonych gazów, należy zastosować urządzenia do odgazowywania wody. W celu uniknięcia zalania analizatora wąż odpływowy do kanalizacji nie powinien się stykać z lustrem wody odpadowej.

Wybór sposobu podłączenia wody zależy od decyzji i możliwości użytkownika.

Komputer jest podłączony do analizatora za pomocą dwóch kabli i musi być podłączony do tego samego punktu zasilania co analizator IPS-L.



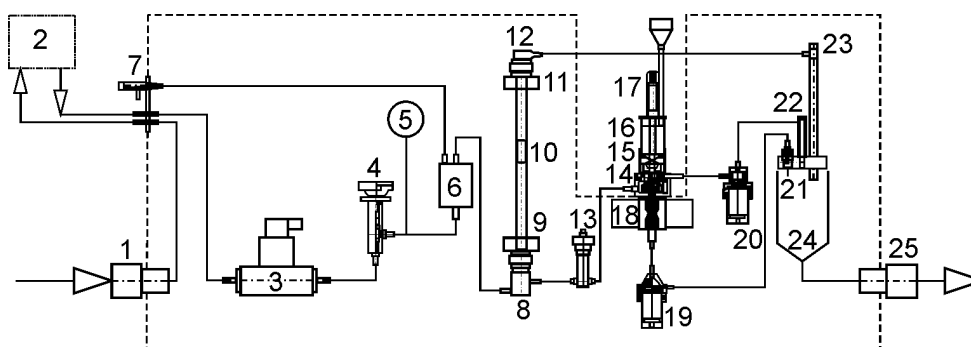
Rys. 1.3. Sposób montażu analizatora przy zasilaniu technologicznie czystą wodą



Rys. 1.4. Sposób montażu analizatora przy zasilaniu wodą z wodociągu

1.5. Zasada działania analizatora IPS-L

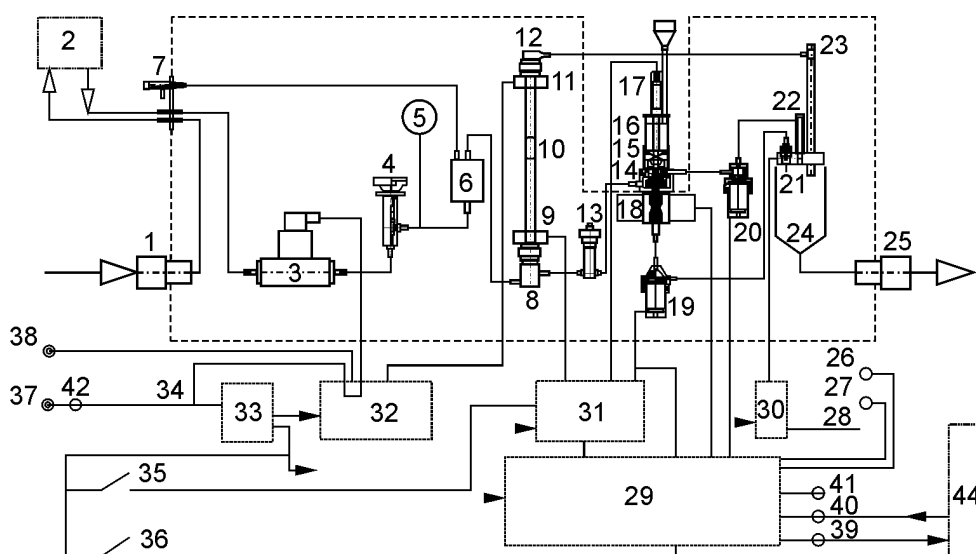
Schemat hydrauliczny analizatora IPS-L przedstawia rysunek 1.5.



Rys. 1.5. Schemat układu hydraulicznego IPS-L

Woda doprowadzona pod ciśnieniem do złącza [1], po wstępnym oczyszczeniu w filtrze [2] jest przepuszczana przez elektrozawór odcinający [3] i dozowana zaworem ręcznym [4]. Przepływ wody przez filtr [6] powinien być tak wyregulowany, żeby pływak [10] nie przekraczał poziomu górnego czujnika [11] i był powyżej poziomu dolnego czujnika [9]. Na zaworze [4] i filtrze [6] następuje spadek ciśnienia do wysokości słupa wody określonego przez poziom pływaka [10]. Duża zmiana ciśnienia powoduje intensywne tworzenie się pęcherzyków powietrza w wodzie. Do odpowietrzenia instalacji przed filtrem [6] służy zawór [7], a za filtrem [6] w wodzie przepływającej przez komorę [8] następuje częściowe oddzielenie pęcherzyków powietrza. Następnie przez

pompkę [13] woda przepływa do drugiej komory odpowietrzającej [14], gdzie następuje dalsze wydzielenie małych pęcherzyków powietrza. Do odpowietrzenia komory [14] służy elektrozawór [20]. Przed każdym pomiarem w komorze [14] nie powinno być powietrza. Z komory [14] „czysta” woda wpływa do przestrzeni pomiarowej czujnika [18], gdzie jest zmieszana z wodą badaną zawierającą mierzone cząstki. Przy poprawnym przepływie „czysta” woda formuje strumień badanej wody i ogranicza jej kontakt z optyką czujnika [18]. Za czujnikiem [18] znajduje się pompa dozująca [19], która zależnie od ciśnienia przed czujnikiem [18] i szybkości pomiaru cząstek dodatkowo zasysa wodę. Pompka [13] jest używana do intensywnego czyszczenia instalacji przez skokowe, gwałtowne odwracanie kierunku przepływu.



Rys.1.6. Pełny schemat ideowy IPS-L

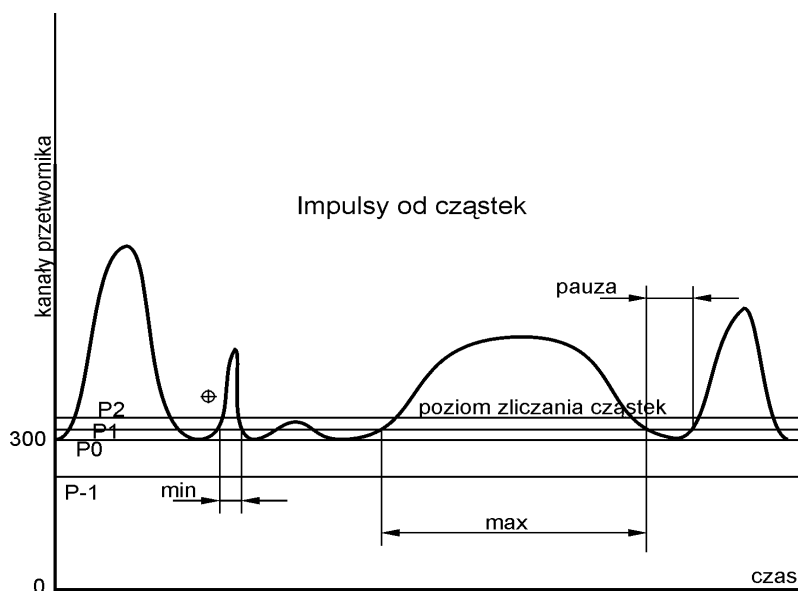
Dla ułatwienia obsługi analizatora wykorzystuje się następujące elementy, które przedstawione są na pełnym schemacie ideowym.

- LED zielony [26] Gdy instalacja hydrauliczna jest zalana wodą i odpowietrzona to dioda świeci. Miganie jest stanem prawidłowym, świadczy o działaniu układu automatycznej regulacji poziomu sygnału
- LED czerwony [27] Sygnalizuje koniec pomiaru; po włączeniu analizatora przełącznikiem [34] i uruchomieniu programu IPS-L zaświecenie się LED [27] sygnalizuje, że komputer przejął kontrolę nad działaniem analizatora. Wówczas można włączyć przełącznik [35]
- LED żółty [28] Sygnalizuje przepływ cieczy od punktu [1] do punktu [21], co jest warunkiem wykonania poprawnego pomiaru. Przy braku świecenia LED żółtego [28] należy odkręcić zawór [4] lub/i odpowietrzyć instalację przez włączenie z klawiatury komputera elektrozaworu [20] lub przez chwilowe włączenie pompy [19] bezpośrednim wyłącznikiem [36]

- Górny czujnik poziomu [11] Chroni przyrząd przed nadmiernym zużyciem wody, która przelewałaby się przez punkt [12] i [23] do kanalizacji. a w skrajnych przypadkach mogłaby zalać przyrząd. Czujnik [11] daje sygnał do zamknięcia elektrozaworu [3] i odcina przepływ wody. W czujniku [11] znajduje się dodatkowy żółta dioda LED, która, gdy jest zapalona, informuje o otwarciu zaworu odpowietrzającego [20]. Do chwili zakończenia odpowietrzania należy przerwać inne czynności i uważać, aby pływak [10] był w górnej części wodowskazu.
- Dolny czujnik poziomu [9] Daje sygnał do komputera, że poziom cieczy w analizatorze się niebezpiecznie obniżył (zbyt mały wydatek wody przepływa przez analizator) i może dojść do zapowietrzenia instalacji. Działanie tego czujnika jest całkowicie automatyczne.
- Manometr [5] Służy do określenia stopnia zużycia filtru [6]. Przy wysokim ciśnieniu wskazywanym przez manometr należy wymienić filtr [6]

1.6. Zasada pomiaru

Na skutek osłabienia promieniowania podczerwonego w przestrzeni pomiarowej przez pływające cząstki powstają w układzie elektrycznym fotoprzetwornika impulsy, których kształt jest analizowany.



Rys. 1.7. Zasada pomiaru

Do analizy sygnału elektrycznego wykorzystuje się cztery poziomy. Tam, gdzie jest linia pozioma sygnału przy braku impulsów umieszcza się poziom „0”. Impulsy elektryczne mierzy się przy pomocy 12-bitowego przetwornika A/C, to jest na 4096 kanałów pomiarowych. Poziom „0” umieszczony jest dowolnie na „wysokości” około trzystu kanałów. Na poziomie „1”, który jest umieszczony o jeden kanał wyżej od poziomem „0” mierzy się szerokość impulsu i porównuje z wartościami zadanymi „min” i „max”. Jeżeli impuls jest mniejszy niż „min” lub szerszy niż „max”, to jest odrzucany z pomiaru. Poza tym amplituda impulsu musi być większa lub równa poziomowi „2”, aby impuls był zaliczony do prawidłowego pomiaru. Poziom „2” automatycznie jest ustawiany o jeden kanał wyżej niż poziom „1” lub dowolnie wyżej przy pomocy komputera. Poprzez wyższe ustawienie poziomu „2” można wykluczyć pomiar małych cząstek.

Przy pomiarach cząstek w wodzie bardzo często występują pęcherzyki gazowe. Dla pęcherzyka gazowego kształt impulsu elektrycznego charakteryzuje się dodatkowymi „wąsami” do dołu na początku i końcu impulsu. „Wąsy” spowodowane są odbiciem lustrzanym na granicy faz cieczy i gazu. Są one proporcjonalne do średnicy pęcherzyka, to jest do amplitudy impulsu. Gdy wielkość przebiegu elektrycznego poniżej poziomu „0” osiągnie poziom „-1” na początku i na końcu impulsu, to taki impuls jest odrzucany. Poziom „-1” może być dowolnie ustawiany pomiędzy pierwszym kanałem przetwornika a wartością kanału dla poziomu „0”. Gdy poziom „-1” równy jest zero, to wówczas wszystkie impulsy są zliczane, również te, tworzone przez pęcherzyki gazowe.

Podczas pomiaru może zachodzić koincydencja cząstek, tzn. jednoczesne występowanie cząstek w przestrzeni pomiarowej. Śledząc poziom sygnału elektrycznego i częstotliwości występowania cząstek można nie dopuścić do koincydencji. Roztwory wodne o większych od wody ciężarach właściwych muszą przez strefę pomiarową przepływać bardzo stabilnie. Brak stabilnego przepływu może spowodować duże błędy pomiaru ponieważ zmiana średnicy strumienia o innej gęstości niż woda jest traktowana przez analizator jako cząstka.

1.7. Algorytm oprogramowania producenta IPS-L

Algorytm programu dotyczy obliczeń dla cząstek sferycznych. Poniżej podano zależności oraz postać zapisu matematycznego, która ujmuje wszystkie zależności opisane w programie W przypadku p pomiarów wykonanych przez użytkownika wyniki można zapisać w postaci macierzy:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ \cdot \\ d_2 \\ \cdot \\ d_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{11} & \cdot & n_{1j} & \cdot & n_{1p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ n_{i1} & \cdot & n_{ij} & \cdot & n_{ip} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ n_{k1} & \cdot & n_{kj} & \cdot & n_{kp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ x_2 \\ \cdot \\ x_p \end{bmatrix}$$

gdzie:

- d – średnica cząstek,
- n – liczba zmierzonych cząstek,
- i – bieżący numer klasy wymiarowej,
- j – bieżący numer pomiaru,
- k – maksymalny numer klasy wymiarowej (max C_{64}),
- p – maksymalny numer pomiaru,
- x – współrzędna innego zmiennego parametru.

Na podstawie pomiarów można obliczyć charakterystyki, które jednoznacznie będą określały zbiór cząstek. Na podstawie zarejestrowanych wyników można obliczyć średnie średnice występujące w danej strefie obszaru zbioru cząstek, jak również w całym zbiorze.

$$dn_j = \sum_i F_{ij} * d_i \quad \text{średnia arytmetyczna średnica}$$

$$ds_j = \sqrt{\sum_i F_{ij} * (d_i)^2} \quad \text{średnia powierzchniowa średnica}$$

$$dv_j = \sqrt[3]{\sum_i F_{ij} * (d_i)^3} \quad \text{średnia objętościowa średnica}$$

$$da_j = \frac{(dv_j)^3}{(ds_j)^2} \quad \text{średnia objętościowa średnica ważona wg powierzchni (Sautera)}$$

gdzie:

$$F_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_i n_{ij}}$$

Mediana (D_{med}) – średnica cząstek wyznaczająca dokładnie 50 % rozkładu,

Moda (D_{mod}) – średnica cząstek najbardziej znaczących w rozkładzie.

Mając daną ilość cząstek w każdej klasie pomiarowej dla wszystkich stref obszaru badanego, można obliczyć średnic średnice cząstek dla całego zbioru wg następujących wzorów:

$$d_n = \sum_i A_i * d_i \quad \text{średnia arytmetyczna średnica,}$$

$$d_s = \sqrt{\sum_i A_i * (d_i)^2} \quad \text{średnia powierzchniowa średnica,}$$

$$d_v = \sqrt[3]{\sum_i A_i * (d_i)^3} \quad \text{średnia objętościowa średnica.}$$

$$d_a = \frac{(dv)^3}{(ds)^2} \quad \text{średnia objętościowa średnica ważona wg powierzchni}$$

$$d_{geo} = \frac{\sum_i (n * \log d_i)}{\sum_i n} \quad \text{średnica geometryczna}$$

Całkowite udziały objętościowe, powierzchniowe i średnicowe danej klasy wymiarowej średnic w całym zbiorze:

$$Bn_i = A_i * \frac{d_i}{dn} \quad \text{całkowity udział średnicowy i-tej klasy wymiarowej,}$$

$$Bs_i = A_i * \left(\frac{d_i}{ds}\right)^2 \quad \text{całkowity udział powierzchniowy i-tej klasy wymiarowej,}$$

$$Bv_i = A_i * \left(\frac{d_i}{dv}\right)^3 \quad \text{całkowity udział objętościowy i-tej klasy wymiarowej.}$$

gdzie:

$$A_i = \frac{\sum_j n_{ij}}{\sum_i \sum_j n_{ij}}$$

Całkowitym udziałem objętościowym B_{vi} będzie stosunek objętości jaki reprezentuje ilość cząstek w danej klasie wymiarowej średnicy d_i do objętości w całym zbiorze i reprezentowanym przez średnia objętościową średnicę. W analogiczny sposób można zdefiniować całkowite udziały powierzchniowe i średnicowe.

1.8. Spis oznaczeń do opisu schematów IPS–L

1. Złącze wodociągowe,
2. filtr zewnętrzny,
3. elektromagnetyczny zawór odcinający,
4. zawór regulacyjny,
5. manometr,
6. filtr dokładny,
7. zawór odpowietrzający filtr,
8. pierwsza komora odpowietrzająca,
9. dolny czujnik poziomu,
10. pływak,
11. górny czujnik poziomu,

12. przelew wodowskazu,
13. pompa czyszcząca,
14. druga komora odpowietrzająca,
15. wejście do czujnika pomiarowego,
16. pojemnik,
17. mieszarka,
18. czujnik,
19. pompa dozująca,
20. elektryczny zawór odpowietrzający,
21. czujnik przepływu,
22. przelew odpowietrzania,
23. upust wodowskazu,
24. komora zlewowa,
25. złącze kanalizacyjne,
26. LED zielony – sygnalizacja sprawnego działania,
27. LED czerwony – sygnalizacja końca pomiaru,
28. LED żółty – sygnalizacja prawidłowego przepływu,
29. układy pomiarowe i sterujące,
30. układ wizualizacji przepływu,
31. układ sterujący pracą pompy dozującej i mieszarki,
32. układ zabezpieczający przed przelaniem,
33. zasilacze,
34. wyłącznik 220V,
35. wyłącznik układu sterującego silnikami elektrycznymi,
36. bezpośredni włącznik pompy dozującej,
37. gniazdo sieciowe 220V (wejście),
38. sterowane gniazdo sieciowe 220V (wyjście),
39. wyjście pomiarowe BNC,
40. wyjście sterujące Canon 25 pin,
41. wejście pomiarowe od objętościomierza,
42. objętościomierz,
43. pojemnik z badaną cieczą,
44. komputer,
45. monitor,
46. drukarka,
47. klawiatura,
48. mysz,
49. jednofazowe źródło zasilania systemu 220V,
50. kryza,
51. zawór,
52. hydroakumulator,
53. regulator przepływu lub zawór,
54. manometr,
55. zacisk,
56. przewód cieczowy,
57. gniazdo do przepłukiwania,
58. zacisk do regulacji poziomu,
59. układ do pomiaru bezpośrednio z fiolek,
60. bezpiecznik,
61. kabel mieszarki.