KAN5-T – raport z symulacji

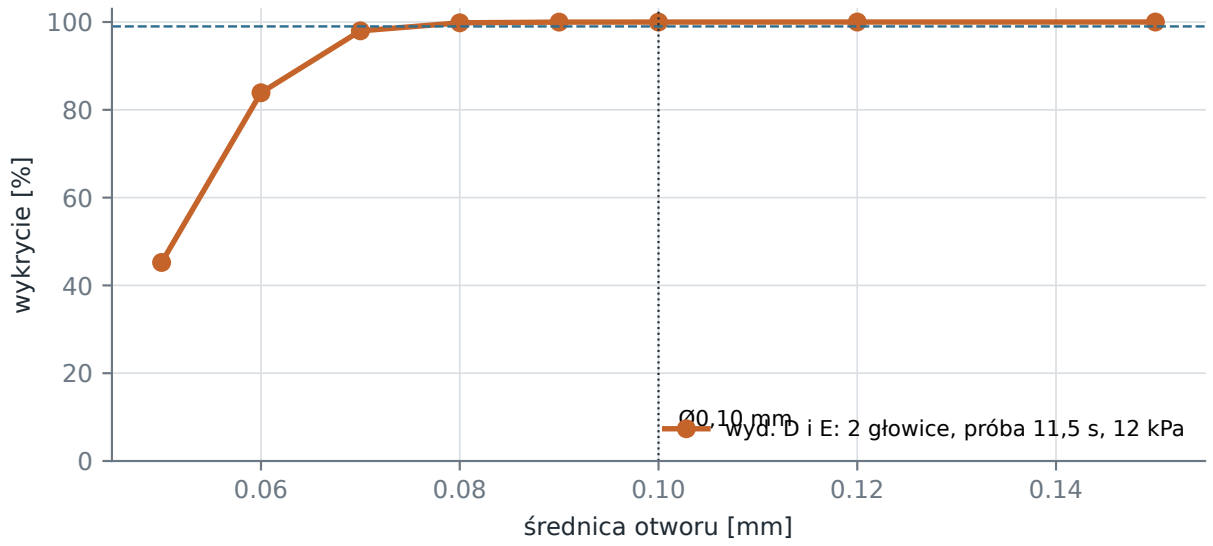
Tester szczelności kanistra KAN5 5 L · wyd. E (2 głowice, 500 szt./h, otwór Ø0,10 mm) · 2026-11-25 · Brillnet / Piotr Adamski · status: do odbioru

1. Wynik

Wymaganie	Wynik modelu	Ocena
Otwór Ø0,10 mm wykrywany	0 pominiętych na 50 000 kanistrów z otworem; wynik średni −30,5 Pa przy progu −8,0 Pa; odstęp 10,0 σ	spełnione w modelu nominalnym
Wydajność ≥ 500 szt./h	cykl 13,53 s na parę → 532,2 szt./h; z rozrzutem czasów (99. centyl) 527,0 szt./h	spełnione, zapas 6,4 %
Najwyżej 2 głowice	2 kanały pomiarowe, wspólne odniesienie	spełnione
Fałszywe braki	model metody: 1 % (nastawa progu); próba programu: 1,83 % (157 z 8 564)	więcej niż założono – p. 9
Program sterujący	38 z 38 prób na modelu maszyny zaliczonych; 0 kanistrów nieszczelnych albo bez wyniku na wyjściu z 24 945 wyjeżdżających	spełnione na modelu; na sprzęcie nieuruchamiany

Dwie głowice przy 500 szt./h zostawiają 11,5 s na próbę jednej pary. W modelu nominalnym to wystarcza: na 50 000 kanistrów z otworem Ø0,10 mm żaden nie przeszedł (górna granica 95 % dla udziału przepuszczonych: 60 na milion). Najgorszy wynik kanistra z otworem leżał 1,9 Pa od progu, a warianty sąsiednie dają 1–2 pominięcia na 12 000. Zapas jest więc realny, ale cienki, i zależy od trzech wielkości, których model nie zna z pomiaru: rozrzutu kanistrów, czasu zaniku ruchu powietrza po napełnieniu i zmian siły działającej na kanister w czasie pomiaru. Przy rozrzucie większym 2 razy i mieszaniu zanikającym 2 razy szybciej wykrycie spada do 34 % – wtedy 2 głowice przy 500 szt./h nie wystarczają, a 3 głowice dają 100 %.

Dlatego przed budową reszty maszyny obowiązuje próba V0 (p. 10). Jeżeli jej wynik będzie gorszy od kryteriów, zostają dwa wyjścia: wolniejszy takt (440 szt./h przy próbie 14,5 s daje 12,2 σ) albo trzecia głowica (15,3 σ przy 500 szt./h).



2. Co się zmieniło względem wyd. D

Metoda pomiaru i model B1, B2 są te same co w wyd. D. Zmieniło się sterowanie, sekwencja i wyrzut braków, a do raportu doszła próba programu.

Element	Wyd. D	Wyd. E
B1, B2 – wykrywanie, przepływ	model metody	bez zmian
Upust do ciśnienia próby	zamknięcie zaworu według przetwornika	upust czasowy; ciśnienie po upuście jest kontrolą objętości (B7)
Okna próbek	chwile 0,30 / 1,43 / 4,28 / 9,50 s, 20 próbek	średnie w oknach 0,18–0,42 / 1,23–1,63 / 3,88–4,68 / 8,70–9,50 s; przetwornik odświeżany 25 razy na sekundę
B3 – takt	docisk G1 zamykany po czasie	docisk zamykany po sygnale -BG2, dosuwanie kolejki w czasie próby, kwantyzacja pętli 30 ms
B4 – wyrzut braków	wypychacze	dysze ⌀2,5 przy 2 bar
B6 – zatrzymanie awaryjne	przekaźnik bezpieczeństwa	kategoria 1 bez przekaźnika, czuwak sterownika
B7 – próba programu	–	38 scenariuszy na modelu maszyny, 81 h pracy modelu

3. B1 – wykrywanie przecieku

3.1. Metoda

1. Korki wchodzą w szyjki. Oba kanistry i kolektor ze zbiornikiem odniesienia napełniają się do 19,2 kPa (przeciążenie wstępne 1,6 ×), po 1,6 s ciśnienie jest upuszczane do 12 kPa. Razem 2,0 s.
2. Zawory kanałów zamykają się bez różnicy ciśnień. Każdy przetwornik mierzy różnicę: kanister – odniesienie. Pomiar trwa 9,5 s, próbki po 0,30 / 1,43 / 4,28 / 9,50 s.
3. Z próbek powstają trzy spadki: x1, x2 (okna stabilizacji) i y (okno pomiaru). Wynik: $z = y - (b1 \cdot x1 + b2 \cdot x2 + b3 \cdot T + b0)$, gdzie T to temperatura ścianki z pirometru. Współczynniki pochodzą z regresji na kanistrach szczelnych.
4. Kanister jest szczelny, gdy z ≥ próg. Próg ustawia się na 1 % fałszywych braków.

Przeciążenie wstępne nagrzewa powietrze przy sprężaniu, a upust je schładza. Przy współczynniku 1,6 oba efekty znoszą się w oknie pomiaru. To najczulsza nastawa metody (p. 3.4).

3.2. Model i założenia

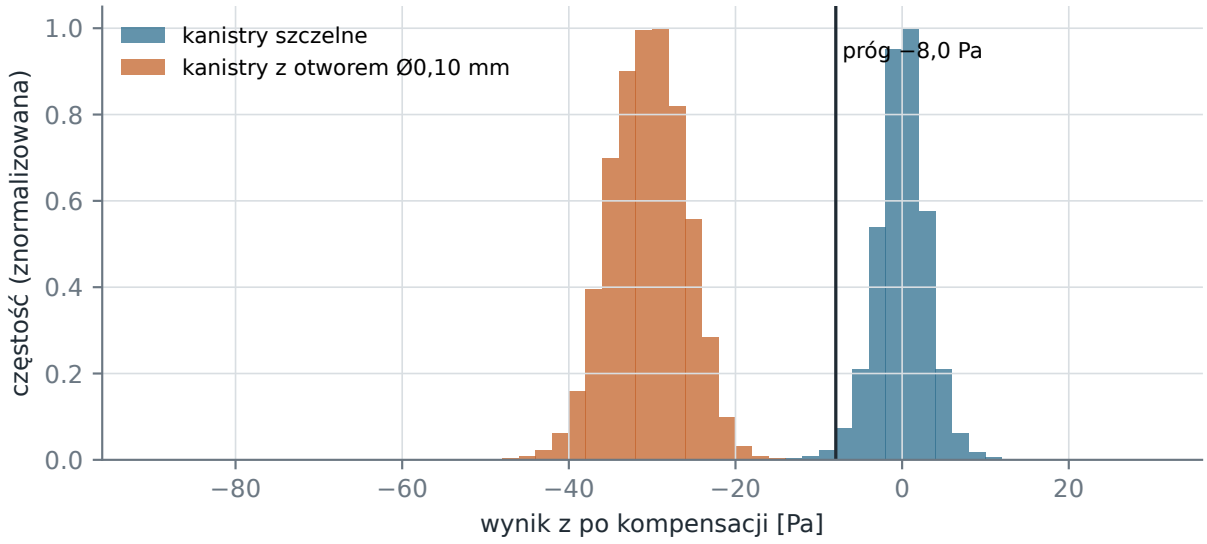
Wielkość	Wartość	Źródło
Objętość kanistra z szyjką	5,68 l	model 3D
Podatność i pełzanie ścianek	dwie stałe czasowe, rozrzut σ_ln 0,15	założenie (HDPE), do pomiaru w V0
Wymiana ciepła ze ścianką	stała czasowa 120 s, zanik mieszania 1,0 s	założenie, do pomiaru w V0
Temperatura kanistra względem otoczenia	rozrzut między kanistrami i w parze	założenie; wymaganie przyłączeniowe ±2 K
Zmiana siły na kanister w czasie pomiaru	1,0 Pa (odchylenie)	założenie; korek nie dociska kanistra
Szum przetwornika po uśrednieniu	1,0 Pa	założenie do karty katalogowej
Błąd pirometru (powtarzalność)	0,15 K	założenie do karty katalogowej

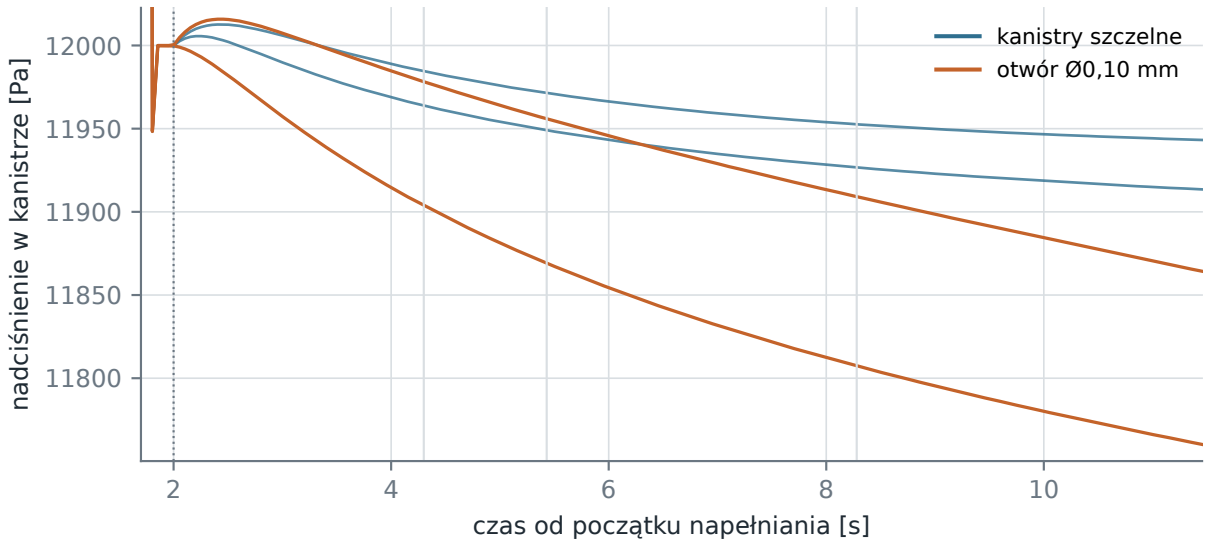
Wielkość	Wartość	Źródło
Otwór	przepływ ściśliwy, Cd 0,45–0,65 (B2)	model
Liczba losowań	40,000 kanistrów do uczenia, 100,000 do oceny	ziarno 20261125

3.3. Punkt projektowy

Wielkość	Wartość
Odchylenie wyniku z kanistrów szczelnych	3,06 Pa
Odchylenie spadku przed kompensacją	26,7 Pa
Próg	−8,0 Pa
Wynik średni kanistra z otworem Ø0,10 mm	−30,5 Pa
Najgorszy wynik kanistra z otworem (z 50 000)	−9,9 Pa
Pominięte	0 / 50 000
Fałszywe braki w próbie kontrolnej	1,0 %

Kompensacja zmniejsza rozrzut 9 razy. Bez niej metoda przy tym czasie nie działa.





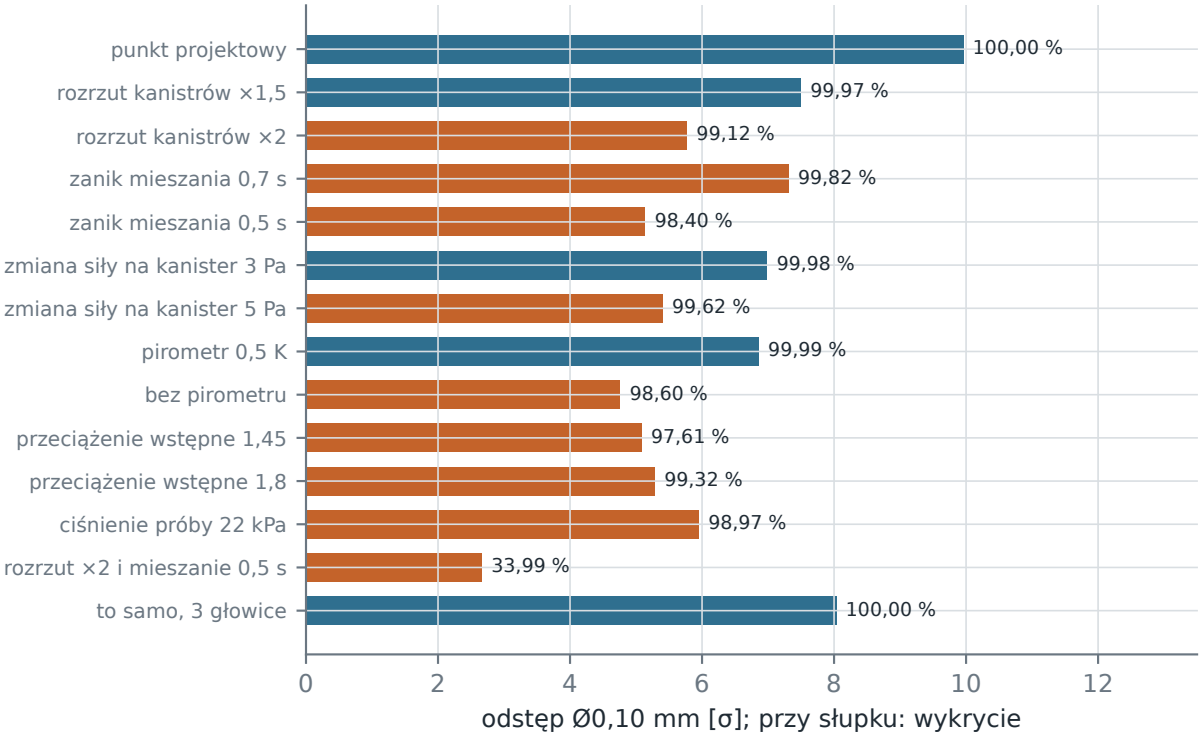
Średnica otworu [mm]	Wykrycie	Wynik średni [Pa]
0,05	45,23 %	−7,7
0,06	83,89 %	−11,0
0,07	97,99 %	−15,0
0,08	99,82 %	−19,6
0,09	99,98 %	−24,8
0,10	99,99 %	−30,5
0,12	100,00 %	−43,8
0,15	100,00 %	−68,2

Otwór wykrywany w 99 % przypadków: Ø0,073 mm; w 99,9 %: Ø0,083 mm. Obie nieszczelne sztuki w parze: wykrycie 100 % – kanały są niezależne, bo odniesieniem jest zbiornik, nie drugi kanister.

Duży przeciek: otwór Ø0,2 mm daje na końcu pomiaru −430 Pa, Ø1 mm – −8 023 Pa (przetwornik ±500 Pa w nasyceniu = brak). Kanister, który nie osiąga ciśnienia próby, jest brakiem z kontroli ciśnienia kolektora.

3.4. Wrażliwość

Wariant	Odstęp [σ]	Wykrycie Ø0,10	Pominięte	σ wyniku [Pa]	Próg [Pa]
punkt projektowy (próba kontrolna 12 000)	9,9	100,00 %	0 / 12000	3,08	−8,3
rozrzut kanistrów × 1,5	7,5	99,97 %	4 / 12000	3,96	−10,8
rozrzut kanistrów × 2	5,8	99,12 %	106 / 12000	5,04	−15,3
zanik mieszania 0,7 s	7,3	99,82 %	22 / 12000	3,89	−11,5
zanik mieszania 0,5 s	5,1	98,40 %	192 / 12000	4,94	−13,2
zanik mieszania 2,0 s	13,1	100,00 %	0 / 12000	2,57	−6,2
zmiana siły na kanister 2 Pa	8,2	100,00 %	0 / 12000	4,02	−10,1
zmiana siły na kanister 3 Pa	7,0	99,98 %	2 / 12000	5,01	−12,6
zmiana siły na kanister 5 Pa	5,4	99,62 %	45 / 12000	7,07	−17,1
pirometr 0,3 K	8,3	100,00 %	0 / 12000	3,57	−8,8
pirometr 0,5 K	6,9	99,99 %	1 / 12000	4,19	−9,9
bez pirometru	4,8	98,60 %	168 / 12000	5,47	−12,7
przeciążenie wstępne 1,45	5,1	97,61 %	287 / 12000	5,07	−13,9
przeciążenie wstępne 1,8	5,3	99,32 %	82 / 12000	5,78	−13,8
ciśnienie próby 8 kPa	10,4	100,00 %	0 / 12000	2,53	−6,1
ciśnienie próby 16 kPa	8,4	99,95 %	6 / 12000	3,99	−11,4
ciśnienie próby 22 kPa	5,9	98,97 %	124 / 12000	6,33	−18,2
rozrzut × 2 i mieszanie 0,5 s – 2 głowice	2,7	33,99 %	7921 / 12000	8,97	−26,9
rozrzut × 2 i mieszanie 0,5 s – 3 głowice	8,0	100,00 %	0 / 12000	6,25	−18,1

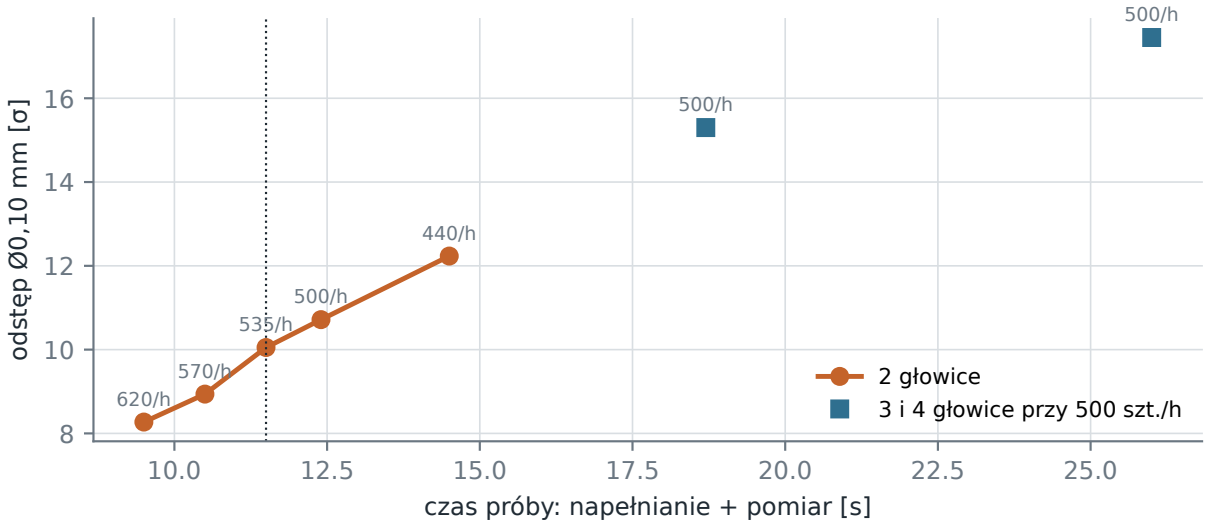


Wnioski z tabeli:

- Pirometr jest konieczny. Bez niego wykrycie spada do 98,6 %.
- Przeciążenie wstępne musi trafić w wąskie okno: 1,45 i 1,8 dają około 5 σ, 1,6 daje 10 σ. Sterownik stroi je sam – koryguje ciśnienie odcięcia napełniania tak, by średni spadek kanistrów szczelnych w pierwszym oknie stabilizacji był zerowy. Bez tej funkcji metoda nie utrzyma zapasu.
- Wyższe ciśnienie nie pomaga: sygnał rośnie, ale pełzanie ścianek rośnie szybciej.
- Siła na kanister nie może się zmieniać w czasie pomiaru. Stąd korek zamiast docisku do czoła szyjki. Ryzyko zostaje: szyjka pełznie w górę względem nieruchomego korka, a tarcie wargi może przenieść część tej siły na kanister. Skalę efektu trzeba zmierzyć w V0.

3.5. Czas próby i liczba głowic

Czas próby [s]	Głowice	Wydajność [szt./h]	Odstęp [σ]	Wykrycie Ø0,10	Pominięte
9,5	2	620	8,3	99,98 %	2 / 12000
10,5	2	570	8,9	99,99 %	1 / 12000
11,5	2	535	10,1	100,00 %	0 / 12000
12,4	2	500	10,7	100,00 %	0 / 12000
14,5	2	440	12,2	100,00 %	0 / 12000
18,7	3	500	15,3	100,00 %	0 / 12000
26,0	4	500	17,5	100,00 %	0 / 12000

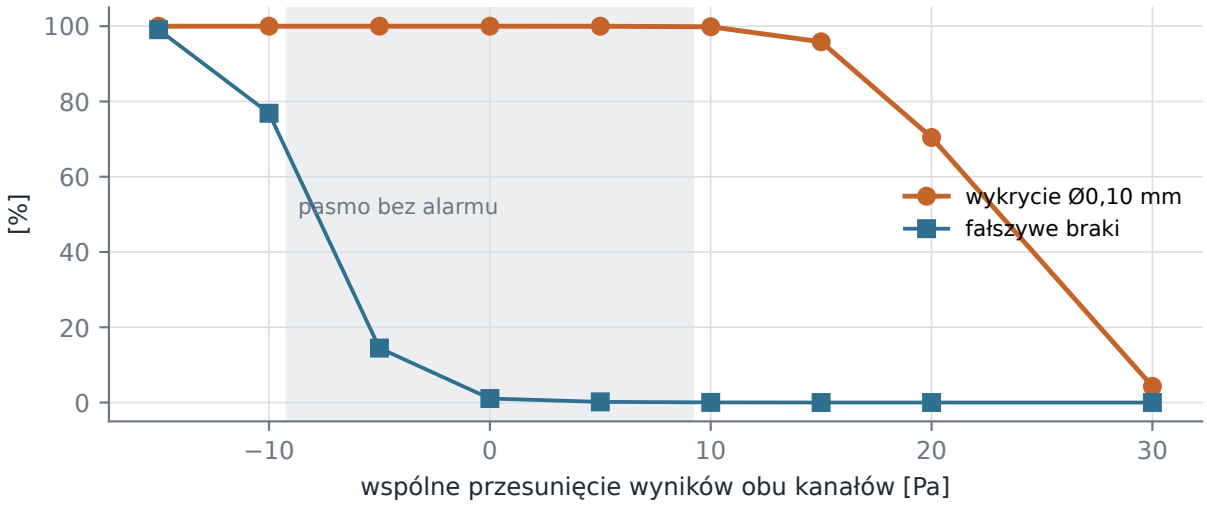


3.6. Kanistry ciepłe i dryf

Kanistry cieplejsze o 5 K od otoczenia: po uczeniu na takich kanistrach 7,5 σ; na nastawach z kanistrów chłodnych fałszywe braki rosną do 7,2 %, wykrycie zostaje 100 %. Błąd idzie w bezpieczną stronę (więcej braków, nie przepuszczeń), ale kosztuje wydajność. Wymaganie przyłączeniowe: kanistry w temperaturze otoczenia ±2 K, uczenie powtarzane po zmianie warunków.

Wspólne przesunięcie wyników obu kanałów (nieszczelny kolektor, zmiana temperatury płyty toru próby) sterownik wykrywa po średniej kroczącej wyników. Pasmo bez alarmu: ±9,2 Pa (3 σ). Poza pasmem oba kanistry idą do braków i włącza się alarm.

Przesunięcie [Pa]	Wykrycie Ø0,10	Fałszywe braki	Alarm
−15	100,00 %	99,07 %	tak
−10	100,00 %	76,87 %	tak
−5	100,00 %	14,47 %	nie
0	100,00 %	1,07 %	nie
5	99,99 %	0,18 %	nie
10	99,85 %	0,04 %	tak
15	95,85 %	0,01 %	tak
20	70,43 %	0,01 %	tak
30	4,29 %	0,00 %	tak



Przesunięcie dodatnie (maskujące przeciek) do granicy pasma obniża wykrycie najwyżej do 99,85 %; większe włącza alarm.

3.7. Nastawa progu

Fałszywe braki	Próg [Pa]	Pominięte Ø0,10
0,2 %	−11,6	3 / 50 000
0,5 %	−9,5	0 / 50 000
1,0 %	−8,0	0 / 50 000
2,0 %	−6,7	0 / 50 000
5,0 %	−5,0	0 / 50 000

Próg na 2 % fałszywych braków przesuwa granicę o 1,3 Pa w bezpieczną stronę za cenę ok. 5 dodatkowych kanistrów na godzinę w pojemniku braków (można je podać ponownie).

4. B2 – przepływ przez otwór

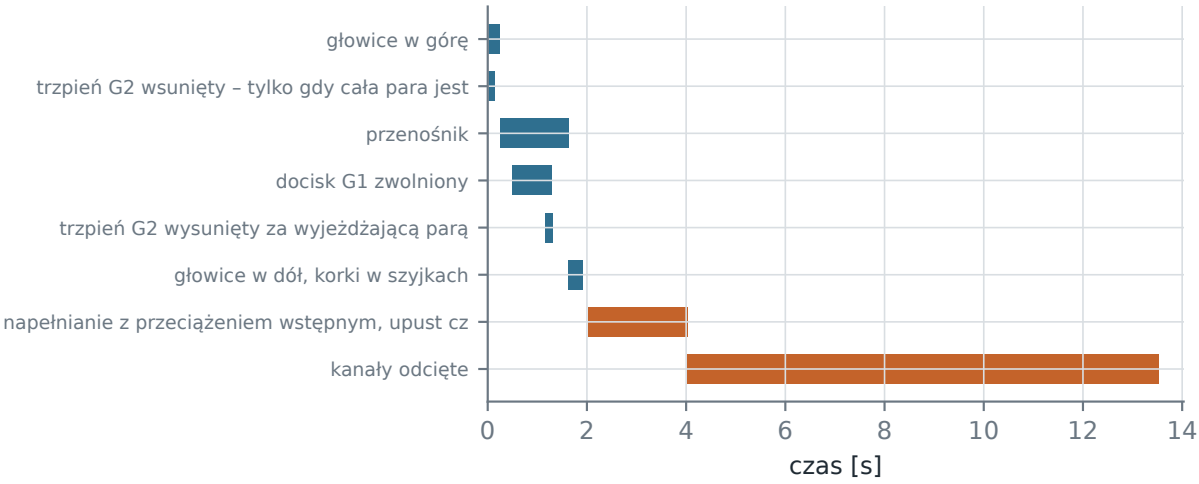
Ciśnienie próby 12 kPa, powietrze 20 °C. Dwa modele: otwór cienkościenny (Cd 0,45–0,65) i krótki kanał o długości równej grubości ścianki.

Ø [mm]	Otwór Cd 0,45	Cd 0,55	Cd 0,65	Kanał 0,81 mm	Kanał 1,5 mm
0,02	1,19	1,46	1,72	0,20	0,11
0,03	2,68	3,28	3,88	0,96	0,55
0,05	7,45	9,11	10,77	5,65	3,75
0,07	14,61	17,85	21,10	14,86	11,42
0,10	29,81	36,44	43,06	36,54	31,30
0,15	67,08	81,98	96,89	94,52	85,44
0,20	119,24	145,74	172,24	180,30	167,06
0,30	268,30	327,92	387,55	435,03	413,66
0,40	476,98	582,97	688,97	801,02	771,16
0,50	745,28	910,90	1 076,52	1 278,56	1 239,91

Przepływy w cm³/min (1013 hPa, 20 °C). Otwór Ø0,10 mm: 36,4 cm³/min (zakres 29,8–43,1), spadek ciśnienia w kanistrze 10,8 Pa/s.

Kryza autotestu Ø0,10 mm (cienka, Cd 0,60–0,85) przepuszcza 39,8–56,3 cm³/min, czyli 1,09–1,55 × więcej niż otwór przyjęty w B1. Autotest sprawdza więc tor i decyzję, a nie sam próg. Dlatego sterownik porównuje wynik autotestu z wartością zapisaną przy walidacji (pasmo ±20 %), a próg potwierdza się kanistrami wzorcowymi z otworami laserowymi (V5).

5. B3 – takt



Wielkość	Wartość
Czas próby (napełnianie 2,0 s + pomiar 9,5 s)	11,5 s
Czas ruchów (głowice w górę, wymiana pary, głowice w dół)	2,02 s
Cykl	13,53 s
Wydajność	532,2 szt./h
Cykl, 99. centyl (rozrzut czasów)	13,66 s → 527,0 szt./h
Najdłuższy cykl przy 500 szt./h	14,4 s

Wymiana pary przy prędkości 0,5 m/s: tył drugiego kanistra mija trzpień G2 po 0,92 s od ruszenia przenośnika, trzpień jest wysunięty po 1,07 s. Docisk G1 zwalnia kolejkę 0,25 s po ruszeniu, więc czoło nowej pary dojeżdża do trzpienia po 1,27 s. Zapas: 0,20 s, czyli 99 mm drogi. Docisk G1 zamyka się po sygnale czujnika -BG2 (przód drugiego kanistra), ok. 1,04 s po ruszeniu; zapas położenia: 62 mm, żeby tarcza nie złapała tyłu drugiego kanistra, i 79 mm, żeby trzeci nie dojechał do pary (B5). Sekwencja czeka na pełne pętle programu (30 ms): 0,10 s w cyklu.

Udział braków	Pary z brakiem	Cykl średni [s]	Zbadane [szt./h]	Szczelne [szt./h]
0 %	0,0 %	13,53	532,2	532,2
1 %	2,0 %	13,55	531,5	526,2
2 %	4,0 %	13,56	530,9	520,3
5 %	9,8 %	13,61	529,2	502,7
10 %	19,0 %	13,68	526,4	473,7

Wyrzut braku dyszą z kontrolą czujnikiem trwa 0,78 s i wydłuża tylko cykl pary z brakiem.

Symulacja zdarzeniowa 8 h, dopływ nieregularny (współczynnik zmienności 0,3), 2 % braków. Tester nie czeka na parę: gdy przy docisku G1 stoi jeden kanister, bada jeden.

Dopływ [szt./h]	Odbiór [szt./h]	Zajętość testera	Próby jednego kanistra	Kolejka średnia	Kolejka największa	Czekanie średnie [s]	Czekanie, 95. centyl [s]
400	401,1	100 %	49 %	1,5	3	6,7	12,8
450	451,4	100 %	30 %	1,8	4	7,4	14,1
500	499,9	100 %	12 %	2,5	8	11,0	23,8
520	517,6	100 %	5 %	3,3	8	15,6	33,9
530	525,9	100 %	2 %	12,4	38	77,7	231,6

Przy 500 szt./h tester pracuje 100 % czasu i potrzebuje przed sobą miejsca na 8 kanistrów (ok. 1,5 m przenośnika zakładu z poślizgiem). Powyżej 520 szt./h kolejka rośnie bez końca. Zapasu na przestoje nie ma: każda minuta postoju testera to 8–9 kanistrów w kolejce.

6. B4 – siły i napęd

Element	Wynik
Korek w szyjce Ø29 mm	ciśnienie wypycha korek siłą 12,7 N przy przeciążeniu i 7,9 N w próbie; siłownik Ø16 przy 2 bar trzyma 37,7 N (zapas 3,0 ×)
Kanister przy wyciąganiu korka	ciśnienie próby dociska kanister do przenośnika siłą 9,2 N; kanister bez ciśnienia (duży przeciek) waży 1,3 N, a tarcie wargi to ok. 4 N – zatrzymuje go płyta zdzierająca 19,4 mm nad kanistrem
Belka głowic POM-C 20×100, rozpiętość 410 mm	ugięcie 0,38 mm, naprężenie 0,67 MPa
Płyta zdzierająca POM-C 8×45	ugięcie 2,12 mm przy 6 N na głowicę
Przenośnik: łańcuch 2,44 m, 6,3 kg	rozruch 34,0 N, jazda 17,5 N; motoreduktor daje 91 N przy momencie znamionowym (wykorzystanie 37 %); 33,5 Hz → 0,5 m/s
Kanister na ruszającym przenośniku	granica poślizgu 2,45 m/s², przyspieszenie 2,5 m/s² – kanister ślizga się przez ok. 0,2 s (uwzględnione w B3); granica wywrócenia 6,47 m/s²
Docisk G1	trzyma 27,1 N przy obciążeniu 10,6 N (napór kolejki z przenośnika zakładu ≤ 10 N – wymaganie przyłączeniowe)
Trzpień G2	obciążenie 0,64 N, energia uderzenia kanistra 0,016 J
Dysza wyrzutu braków ø2,5, 2 bar	przepływ 157 Nl/min w impulsie 0,45 s; siła strumienia 1,24 N na wysokości 180 mm; moment 0,198 N·m przy 0,084 N·m potrzebnych do przewrócenia przez próg (2,4 ×); położenie równowagi po 0,17 s
Powietrze	2,57 Nl na cykl → 11,4 Nl/min

Czułość ciśnienia na siłę działającą na kanister: 4,41 Pa/N. Odchylenie 1 Pa przyjęte w B1 odpowiada zmianie siły o 0,23 N w czasie pomiaru. Masa łańcucha 2,6 kg/m jest założeniem zachowawczym – do sprawdzenia w katalogu dostawcy. Siła dyszy: pęd strumienia swobodnego oddany w całości ściance; rozproszenie strumienia i kształt ścianki pominięte. Rozstrzyga próba V1; wyjście awaryjne to wypychacze.

7. B5 – trafienie korka w szyjkę

Kanister 1 opiera się czołem o trzpień G2, kanister 2 dojeżdża do kanistra 1. Rozstaw głowic to długość kanistra + 3 mm, więc stożek korka odsuwa kanister 2 od kanistra 1 i w czasie próby kanistry się nie

stykają.

Wielkość	Kanister 1	Kanister 2
Błąd położenia szyjki, 99,9. centyl [mm]	5,05	6,44
Błąd największy z 2,000,000 losowań [mm]	6,11	8,01
Promień wychwytu stożka (czubek Ø8) [mm]	10,5	10,5
Poza wychwytem z zapasem 1 mm [na milion]	0,0	0,0

Przy tolerancjach szerszych (długość ±3 mm, szyjka ±2,1 mm) błąd największy kanistra 2 to 9,31 mm – nadal w wychwycie. Kanistry stykają się w czasie próby w 0,018 % par.

Wysokość kanistra ±2 mm: uszczelnienie zostaje 1,5–12,0 mm poniżej czoła szyjki (otwór szyjki musi być walcowy na głębokość ≥ 13 mm – do sprawdzenia na kanistrze), korek w górze jest ≥ 10,0 mm nad szyjką, a płyta zdzierająca 19,4 mm nad kanistrem. Brak przewracany przez próg podnosi wierzch pod płytą najwyżej o 14,0 mm – zostaje 3,4 mm luzu przy kanistrze wyższym o 2 mm.

Bramki: błąd położenia kanistra w chwili dojścia tarczy docisku G1 (zamknięcie po sygnale -BG2) ma odchylenie 6,8 mm (99,99. centyl 24,5 mm) przy tolerancji ±62 mm. Błąd w chwili wysuwu trzpienia G2: 99,99. centyl 34,8 mm przy oknie 99 mm. Założenie: prędkość przenośnika powtarzalna do 2 % między cyklami. Błąd bramki nie daje przepuszczenia: trzpień, który nie doszedł do końca, nie daje sygnału czujnika -BG13 i tester staje z alarmem.

8. B6 – bezpieczeństwo bez osłon blokowanych

Zasada: elementy ruchome mają siły i energie za małe, by zranić, więc nie trzeba ich odgradzać osłoną z blokadą. Siły ogranicza reduktor 2 bar, a przy jego awarii zawór bezpieczeństwa 3 bar.

Element	Napęd	Siła [N]	Siła przy awarii reduktora [N]	Energia [J]	Miejsce
Głowica-korek (2 ×)	ISO 6432 ø16, skok 40	40,2	60,3	0,008	stożek korka nad szyjką; płyta zdzierająca zasłania szyjkę od góry
Docisk boczny G1	ISO 6432 ø16, skok 25	40,2	60,3	0,015	tarcza ø70 z okładziną PU dociska kanister do prowadnicy
Trzpień bramki G2	ISO 6432 ø16, skok 100	40,2	60,3	0,089	trzpień ø20 w poprzek toru; przy wysunięciu wchodzi w otwór prowadnicy
Łańcuch przenośnika	motoreduktor 0,09 kW z falownikiem	≤ 50 (ograniczenie prądu; bez niego 91)	–	0,79	nabiegi łańcucha na koła i bieg powrotny zakryte burtami (KAN5-T-101), płytami przejściowymi (KAN5-T-205) i ślizgiem (KAN5-T-204); szczeliny ≤ 5 mm

Wartości odniesienia: 75 N i 4 J. Przyjęto je przez analogię do wymagań dla osłon z napędem bez urządzenia ochronnego (EN ISO 14120:2015). Nie zostały sprawdzone w tekście normy – wartości i samo zastosowanie analogii trzeba potwierdzić w ocenie ryzyka. Kanister na przenośniku naciska na przeszkodę siłą 0,32 N (samo tarcie). Energia sprężonego powietrza w kanistrze: 9,7 J.

Dysze: dysza nie ma części ruchomych; strumień skierowany w poprzek toru w stronę zsuwni za osłoną stałą z PC; hałas impulsu i ochrona oczu – ocena ryzyka.

Usunięte względem wyd. C: osłona z drzwiami na czujnikach kodowanych; tunele wlotowy i wylotowy 1410 mm; przekaźniki bezpieczeństwa; zawór odcinająco-odpowietrzający z miękkim startem;

wypychacze braków (wyd. E: dysze). Zostają: zatrzymanie awaryjne -SF1: 2 zestyki rozwierne odłączają zasilanie zaworów i stycznik falownika -QA1 (kat. 1); osłony stałe z PC od strony zrzutu braków (KAN5-T-501, KAN5-T-502); burty i płyty zakrywające nabiegi łańcucha; rozłącznik główny i zawór odcinający powietrze z blokadą kłódką. Dodane: reduktor napędów pomocniczych 2 bar (-RA1) i zawór bezpieczeństwa 3 bar (-FL1); ograniczenie prądu falownika (siła w łańcuchu ≤ 50 N); czuwak sterownika -KF5: bez impulsów programu wyjścia tracą zasilanie.

Do zrobienia przed budową: wartości 75 N i 4 J oraz ich zastosowanie – do potwierdzenia w ocenie ryzyka na podstawie tekstu norm; pomiar sił siłomierzem i siły w łańcuchu przy odbiorze (V7); wymagany PLr zatrzymania awaryjnego: projekt oceny przyjmuje c; przy d – przekaźnik bezpieczeństwa dwukanałowy (kosztorys); ocena dostępu do strefy głowic od góry i od strony operatora.

9. B7 – próba programu na modelu maszyny

Program sterujący (`sw/kan5t/control.py`) pracuje z modelem maszyny (`sw/sil/plant.py`) tak, jak będzie pracował z modułami wejść i wyjść: czyta czujniki, steruje zaworami, uczy się, decyduje. Model liczy kanistry tymi samymi równaniami i rozrzutami co B1. Różnice względem B1: ciśnienie w napełnianiu i upuście wynika z zaworów i ich opóźnień (±2 ms), przetworniki mają 12 bitów i odświeżanie 25 razy na sekundę, pętla programu trwa 30 ms, a kanistry jadą po przenośniku, stają na bramkach i przewracają się na zsuwnię. Model zna prawdę o każdym kanistrze, więc każdy wyjazd da się rozliczyć.

Kryterium bezwzględne każdej próby: z testera nie wyjeżdża kanister z otworem ≥ ⌀0,10 mm, kanister bez pełnej i ważnej próby ani kanister oceniony jako brak.

Wielkość	**Wynik**
Próby	38 z 38 zaliczonych; 81 h pracy modelu
Kanistry na wyjściu / w pojemniku braków / zdjęte ręcznie po alarmach	24 945 / 15 013 / 111
Na wyjściu: nieszczelne / bez ważnej próby / ocenione jako brak	0 / 0 / 0
Wykrywanie ⌀0,10 mm (4 próby po 10 h, połowa kanistrów nieszczelna)	10 013 z 10 013 odrzuconych; górna granica 95 % udziału przepuszczonych 0,030 %
Wynik średni kanistra z otworem; odstęp	−26,7 Pa; 10,9 σ (B1: −30,5 Pa; 10,0 σ)
Odchylenie wyniku kanistrów szczelnych z uczenia	2,35–2,60 Pa (B1: 3,06 Pa)
Kanistry z otworem wykryte samym progiem	9 874; najgorszy 2,6 σ poniżej progu
Kanistry z otworem i wynikiem powyżej progu	13; wszystkie zatrzymał inny warunek (NIETYPOWY+ZAKRES: 13)
Fałszywe braki (próby produkcyjne)	157 z 8 564 = 1,83 % (NIETYPOWY: 53, ODNIESIENIE: 2, PRZECIEK: 286, ZAKRES: 2)
Praca 8 h przy dopływie 500,0 szt./h, 2 % nieszczelnych	499,7 szt./h zbadanych; kolejka najwyżej 12; próby pojedyncze 8,8 %; autotestów 6; alarmów 0
Wydajność graniczna (kolejka zawsze pełna)	530,0 / 528,7 / 526,7 szt./h przy 0 / 2 / 5 % braków; mediana cyklu 13,53 s
Pętla programu 50 ms zamiast 30 ms	524,0 szt./h, cykl 13,55 s, alarmów 0
Próby pojedynczych kanistrów (dopływ 250 szt./h)	147 z 147 nieszczelnych odrzuconych; fałszywe braki 28 z 767

Wielkość	Wynik
Rozrzut własności kanistrów × 1,5	773 z 773 odrzuconych; 0 z wynikiem powyżej progu; najgorszy wynik samego progu 0,34 σ poniżej progu; fałszywe braki 29 z 753

Wnioski:

- Wymagania wykrywania i wydajności nie zostały obniżone: odstęp w próbie programu (10,9 σ) jest taki jak w modelu metody (10,0 σ), a wydajność graniczna przekracza 500 szt./h także przy 5 % braków.
- Sam próg nie wystarcza. 13 na 10 013 kanistrów z otworem miało wynik powyżej progu, bo błąd regresji zniósł sygnał przecieku. Zatrzymały je warunki „nietypowy”, „zakres” i „odniesienie”. Dlatego pasmo zmian w oknach stabilizacji ma ±3 σ, a nie ±4 σ jak w wyd. D.
- Fałszywych braków jest 1,8 %, nie 1 %. Rozkład wyniku ma grubsze ogony niż normalny, a węższe pasmo dokłada swoje. To koszt utrzymania wykrywania: ok. 9 kanistrów szczelnych na godzinę w pojemniku braków; mogą wrócić do linii po 10 minutach.
- Przy rozrzucie kanistrów × 1,5 zapas samego progu znika (B1: 99,97 % wykrycia). W próbie programu odrzucone zostały wszystkie kanistry z otworem, ale najgorszy wynik leżał tylko 0,34 σ poniżej progu. Na takim zapasie nie wolno polegać – rozstrzyga próba V0.
- Fałszywych braków przybywa w trzech przypadkach: próby pojedynczych kanistrów przy małym dopływie (3,7 %), pętla programu 50 ms (3,3 %) i rozrzut kanistrów × 1,5 (3,9 %). Kryterium prób V3 i V8 (≤ 3 %) zakłada pętlę 30 ms i pracę parami.

Otwory innej wielkości (połowa kanistrów nieszczelna, po równo każda średnica):

Otwór [mm]	Kanistry	Odrzucone	Przyczyny
0,08	103	103	PRZECIEK: 98, CIŚNIENIE: 4, CIŚNIENIE PRÓBY: 3, NIETYPOWY: 2
0,10	100	100	PRZECIEK: 89, CIŚNIENIE: 11, CIŚNIENIE PRÓBY: 4, NIETYPOWY: 4, ZAKRES: 2
0,12	94	94	PRZECIEK: 92, CIŚNIENIE PRÓBY: 4, NIETYPOWY: 4, CIŚNIENIE: 2
0,15	104	104	PRZECIEK: 96, NIETYPOWY: 12, CIŚNIENIE PRÓBY: 6, ZAKRES: 6, CIŚNIENIE: 5
0,20	108	108	PRZECIEK: 99, NIETYPOWY: 46, ZAKRES: 32, CIŚNIENIE PRÓBY: 10, CIŚNIENIE: 3
0,30	113	113	ZAKRES: 108, NIETYPOWY: 108, PRZECIEK: 21, CIŚNIENIE PRÓBY: 11, CIŚNIENIE: 5
0,50	121	121	ZAKRES: 111, NIETYPOWY: 111, PRZECIEK: 29, CIŚNIENIE: 10, CIŚNIENIE PRÓBY: 6
1,00	130	130	ZAKRES: 117, NIETYPOWY: 103, PRZECIEK: 101, CIŚNIENIE: 13, CIŚNIENIE PRÓBY: 9
2,00	130	130	CIŚNIENIE PRÓBY: 114, ZAKRES: 114, CIŚNIENIE: 16, PRZECIEK: 2
5,00	124	124	CIŚNIENIE: 124

Otwór ⌀0,08 mm jest poniżej wymagania; wynik podano informacyjnie.

Scenariusze:

Próba	Czas modelu [h]	Wyjechało	Do braków	Zdjęte ręcznie	Niedozwolone na wyjściu	Alarmy	Zaliczona
Praca przy 500 szt./h, 2 %	8,00	3829	169	0	0	–	tak

Próba	Czas modelu [h]	Wyjechało	Do braków	Zdjęte ręcznie	Niedozwolone na wyjściu	Alarmy	Zaliczona
nieszczelnych (⌀0,10 mm), 8 h							
Wydajność graniczna: kolejka zawsze pełna	3,00	1565	25	0	0	–	tak
Wydajność graniczna przy 2 % braków	3,00	1526	60	0	0	–	tak
Wydajność graniczna przy 5 % braków	3,00	1487	93	0	0	–	tak
Wykrywanie ⌀0,10 mm: połowa kanistrów nieszczelna, kolejka pełna	10,00	2570	2518	0	0	–	tak
Wykrywanie ⌀0,10 mm – powtórzenie 2 (inne losowanie)	10,00	2501	2591	0	0	–	tak
Wykrywanie ⌀0,10 mm – powtórzenie 3 (inne losowanie)	10,00	2567	2527	0	0	–	tak
Wykrywanie ⌀0,10 mm – powtórzenie 4 (inne losowanie)	10,00	2551	2539	0	0	–	tak
Czułość metody: rozrzut własności kanistrów ×1,5 (wynik informacyjny – rozstrzyga próba V0)	3,00	724	802	0	0	–	tak
Otwory różnej wielkości: 0,08–5 mm	4,00	960	1278	0	0	–	tak
Mały dopływ (250 szt./h): próby pojedynczych kanistrów	4,00	803	205	0	0	–	tak
Uczenie na partii z 5 % nieszczelnych, potem wykrywanie	3,00	783	745	0	0	–	tak

Próba	Czas modelu [h]	Wyjechało	Do braków	Zdjęte ręcznie	Niedozwolone na wyjściu	Alarmy	Zaliczona
Przenośnik wolniejszy o 4 % od nastawy sterownika	2,00	1002	52	0	0	–	tak
Pętla programu 50 ms zamiast 30 ms (wolniejsze moduły), kolejka pełna, 2 % nieszczelnych	3,00	1491	81	0	0	–	tak
Kanał 1 niedrożny przy korku, wszystkie kanistry nieszczelne	0,11	0	38	0	0	Autotest nie daje się wykonać trzy razy z rzędu; Seria braków na stanowisku 2	tak
Nieszczelny kolektor (odniesienie): spadek 1,5 Pa/s, 30 % kanistrów nieszczelnych	0,42	108	96	0	0	Autotest niezaliczony dwa razy z rzędu; Ciśnienie odniesienia nie trzyma po odcięciu	tak
Nieszczelny kolektor (odniesienie): spadek 2,5 Pa/s	0,42	0	144	0	0	Autotest nie daje się wykonać trzy razy z rzędu; Autotest niezaliczony dwa razy z rzędu; Ciśnienie odniesienia nie trzyma po odcięciu	tak
Nieszczelny kolektor (odniesienie): spadek 4 Pa/s po odcięciu, 30 % kanistrów nieszczelnych	0,42	0	144	0	0	Autotest nie daje się wykonać trzy razy z rzędu; Ciśnienie odniesienia nie trzyma po odcięciu	tak
Nieszczelny kolektor (odniesienie): spadek 8 Pa/s	0,42	0	144	0	0	Autotest nie daje się wykonać trzy razy z rzędu; Ciśnienie odniesienia nie trzyma po odcięciu	tak
Nieszczelny kolektor (odniesienie): spadek 20 Pa/s	0,42	0	144	0	0	Autotest nie daje się wykonać trzy razy z rzędu; Ciśnienie odniesienia nie trzyma po odcięciu	tak

Próba	Czas modelu [h]	Wyjechało	Do braków	Zdjęte ręcznie	Niedozwolone na wyjściu	Alarmy	Zaliczona
Przetwornik kanału 1 traci połowę czułości; autotest wymuszony	0,03	0	10	0	0	Autotest niezaliczony dwa razy z rzędu	tak
Przetwornik kanału 1 traci połowę czułości w czasie pracy (bez wymuszenia autotestu), 30 % nieszczelnych	0,50	165	83	0	0	Autotest niezaliczony dwa razy z rzędu; Rozrzut sygnału kanału 1 zmienił się	tak
Kryza autotestu zatkana	0,03	0	10	0	0	Autotest niezaliczony dwa razy z rzędu	tak
Kanistry cieplejsze o 3 K od otoczenia, 30 % nieszczelnych	0,25	11	117	0	0	–	tak
Kanistry cieplejsze o 1 K	0,25	87	41	0	0	–	tak
Głowica 1 nie schodzi	0,08	0	64	0	0	Seria braków na stanowisku 1; Seria braków na stanowisku 2	tak
Dysze nie wyrzucają braków; operator zdejmuje kanistry po alarmie	0,25	44	0	34	0	Brak nie opuścił stanowiska	tak
Dysza zawodzi w 30 % wyrzutów (drugie podejście, potem alarm)	0,25	69	34	9	0	Brak nie opuścił stanowiska	tak
Zatrzymanie awaryjne w czasie pomiaru (10 razy), 10 s przerwy	0,17	15	47	0	0	Zatrzymanie awaryjne albo brak zasilania wyjść	tak
Zanik sprężonego powietrza w czasie pomiaru	0,17	13	43	2	0	Bazowanie: głowica nie w górze albo trzpień G2 nie wysunięty; Brak ciśnienia zasilania	tak
Odbiór nie gotowy przez 60 s	0,05	18	0	0	0	–	tak
Zbyt późne zamknięcie trzpienia G2 i	0,08	9	0	24	0	Trzpień G2 nie zamknął się	tak

Próba	Czas modelu [h]	Wyjechało	Do braków	Zdjęte ręcznie	Niedozwolone na wyjściu	Alarmy	Zaliczona
brak odstępu: trzpień trafia na kanister						przed dojazdem kanistra	
Docisk G1 nie trzyma kolejki: kanistry wjeżdżają jeden za drugim	0,11	14	14	42	0	Brak nie opuścił stanowiska; Kanister za trzpieniem G2 bez próby albo zator na odbiorze	tak
Nieszczelne uszczelnienie korka 2 (jak otwór ⌀0,25 mm)	0,08	4	34	0	0	Seria braków na stanowisku 2	tak
Restart sterownika w czasie pomiaru (zanik zasilania sterownika): kanistry ze strefy idą do braków	0,11	29	31	0	0	–	tak
Reduktor -RA2 rozregulowany o −5 %	0,08	0	62	0	0	Seria braków na stanowisku 1; Seria braków na stanowisku 2	tak
Reduktor -RA2 rozregulowany o +5 %	0,08	0	28	0	0	Autotest nie daje się wykonać trzy razy z rzędu	tak
Reduktor -RA2 uszkodzony: 40 kPa w torze próby	0,06	0	0	0	0	Ciśnienie w torze próby za wysokie	tak

Czego ta próba nie dowodzi: model maszyny powstał z tych samych założeń co program, więc wspólny błąd w założeniach (inna dynamika zaworów, szum modułów, zachowanie kolejki na przenośniku podającym, skuteczność dysz) nie wyjdzie na jaw. Program nie był uruchamiany na komputerze panelowym ani z modułami wejść i wyjść. Próba pokazuje, że logika jest spójna i że w zamodelowanych usterkach kanister bez wyniku nie wyjeżdża; resztę pokażą uruchomienie i próby V0–V8.

10. Ograniczenia modelu i próba V0

Model B1 jest fizyczny, ale jego parametry materiałowe i cieplne są założeniami. Nie ma w nim pomiaru żadnego kanistra KAN5. Te wielkości decydują o wyniku i trzeba je zmierzyć, zanim powstanie reszta maszyny. Próba V0 odbywa się na płycie toru próby maszyny (KAN5-T-602) z szafą i programem oraz jedną głowicą na stojaku:

Co zmierzyć	Jak	Kryterium (2 głowice, 500 szt./h)
Rozrzut wyniku z kanistrów szczelnych	ok. 100 kanistrów z bieżącej produkcji, tryb uczenia programu	odchylenie z ≤ 4,0 Pa (model metody: 3,06 Pa; próba programu: 2,60 Pa)
Sygnał przecieku	kryza ⌀0,10 mm dołączana do kanistra; 5 kanistrów wzorcowych z otworem wierconym ⌀0,10 mm o	wynik średni ≤ −20 Pa (model metody: −30,5 Pa; próba programu: −26,7 Pa);

Co zmierzyć	Jak	Kryterium (2 głowice, 500 szt./h)
	zmierzonym przepływie, po 10 powtórzeń w odstępach ≥ 10 min	każdy wynik co najmniej 3 Pa poniżej progu
Upust czasowy	zbieżność czasu upustu i rozrzut ciśnienia po upuście	zbieżność po ≤ 10 cyklach; ciśnienie po upuście 12 kPa ±1,5 %
Szum wejść analogowych	zapis różnicy ciśnień przy zamkniętych kanałach przez 60 s	odchylenie ≤ 1,5 Pa na próbkę; brak skoków
Wpływ korka	porównanie z kanistrem zamkniętym nakrętką z króćcem (bez siły)	różnica odchyleń z ≤ 1 Pa

Jeżeli kryteria nie są spełnione: próba 14,5 s (440 szt./h) albo trzecia głowica. Obie zmiany wychodzą poza zakres lub budżet zlecenia – decyzja zleceniodawcy po V0, przed zamówieniem reszty części.

Pozostałe ograniczenia: brak drgań przenośników zakładu w modelu, wolnozmienna temperatura otoczenia, brak przeciągów (płyta toru próby wymaga osłony), otwór modelowany jako okrągły.

11. Powtarzalność

Skrypty `sim/b1_run.py` … `sim/b6_safety.py` (ziarno 20261125), wyniki w `sim/out/*.json`. Próby programu: `python3 sw/sil/tests.py` (ok. 50 min na dwóch rdzeniach, wynik `sw/sil/out/sil.json`), zestawienie `sim/b7_sil.py`. Raport: `sim/report.py`.