SIM-T 130 – raport z symulacji

Dziewięć badań obliczeniowych testera szczelności pierścieni uszczelniających wały SIM-T 130, wydanie B. Modele korzystają z wymiarów modelu 3D i z obliczeń toru pomiarowego z opisu technicznego (`SIM-T_opis_techniczny.md`, p. 5 i 6). Wyniki są symulacjami: opisują, jak zachowa się maszyna, jeśli założenia z p. 2 są prawdziwe. Założenia potwierdzają próby prototypu V1–V14 z opisu technicznego. Wydanie B zmienia dwie rzeczy: uszczelnienie kasety (przylga stalowa z DLC zamiast pierścienia PU – badanie B9) i podawanie (orientator grawitacyjny zamiast selekcji z zawrotem – B4, B8).

1. Zakres i wyniki

BADANIE	PYTANIE	WYNIK
B1	Czy pomiar odróżnia sztukę nieszczelną od dobrej?	nacięcie wargi 20 µm odrzucone w 100 % prób we wszystkich 16 formatach; nacięcie wykrywane w 99 %: 16,0–16,6 µm; fałszywe odrzuty 0,01 %–1,7 %
B2	Czy fazy próby mieszczą się w czasie?	odpompowanie 0,06–0,09 s wobec limitu 0,3 s; brak sprężyny i przecięta warga ujawniają się już w fazie 1–2
B3	Co wykrywa okno ciśnienia otwarcia wargi?	brak sprężyny 100 %, guma twardsza o 10 IRHD 78 %, sprężyna słabsza o 20 % tylko 2,2 %
B4	Czy tester nadąża za linią 6 szt./min?	7,84–9,44 szt./min (średnia z 8 h, 0,62 % pominiętych); 7,75 szt./min dla największego formatu przy 5 % pominiętych
B5	Czy kaseta trafia w pierścień i czy go utrzyma?	błąd położenia do 0,65 mm (99,9 %) przy wychwycie 1,17 mm; 0 chybień na 2 000 000 losowań; siła nasunięcia z zapasem ≥ 1,72
B6	Czy przezbrojenie może się pomylić i ile trwa?	0 pomyłek receptury na 3 200 000 pomiarów wzorca; średnio 3,42 min, 95 % zmian w 3,90 min
B7	Czy uszkodzony tester przepuści sztukę wadliwą?	224 kombinacje uszkodzenie × sztuka, 896 000 cykli: 0 sztuk wadliwych po stronie dobrych
B8	Czy orientator kładzie każdy pierścień stroną olejową do góry?	480/480 przebiegów Monte Carlo poprawnie (16 formatów × 30); górna granica błędu 0,62 % (95 %); przypadek skrajny nie przechodzi dla 10×22×7 i 12×24×7
B9	Czy przylga guma–metal uszczelni komorę bez pierścienia PU?	nacisk przylgi przy pobraniu 0,25–2,88 MPa, w locie 0,10–0,24 MPa (samodocisk k = 4,0–15,0)

Najsłabsze miejsca wydania B: zapas orientatora dla dwóch najmniejszych formatów przy cienkich partiach (B8), fałszywe odrzuty największego formatu (B1) i mała pojemność pojemnika pominiętych dla tego formatu (B4). Zalecenia – p. 12.

2. Założenia modeli

NR	ZAŁOŻENIE	WARTOŚĆ	SKĄD
A1	Odczyty kanału ciśnienia	30 na sekundę, rozdzielczość 4 Pa	opis techniczny p. 5 i 12
A2	Szum pojedynczego odczytu	20 Pa (odchylenie standardowe)	opis techniczny p. 5
A3	Rozrzut objętości komory między sztukami	4 %	przyjęto: tolerancje wnęki pierścienia
A4	Przeciek tła oprzyrządowania	0,03 ± 0,02 cm^3/min	kryterium próby V1 (≤ 0,1)
A5	Relaksacja gumy i wyrównanie temperatury po stabilizacji	mediana 12 Pa przy 25 kPa, zanik ze stałą 0,5 s	przyjęto; próby V1, V6
A6	Błąd czułości toru, przed którym ma chronić próg	25 %	szerokość okna LOP receptury
A7	Przeciek sztuk dobrych	mediana 0,03 cm^3/min, rozkład logarytmiczno-normalny (warianty 0,10 i 0,20)	przyjęto; próba V5

NR	ZAŁOŻENIE	WARTOŚĆ	SKĄD
A8	Rozrzut LOP sztuk dobrych	7 % wartości, niepewność odczytu 1 kPa	przyjęto; próba V3
A9	Podawanie	pominięty pierścień 2,0 s; udział pominiętych 0,62 % / 2 % / 5 %; przerwy w dopływie 5 % cykli po średnio 1,5 s	B8 (granica 95 %) i warianty pesymistyczne; opis techniczny p. 4
A10	Położenie pierścienia w bramce V	bramka ±0,10 mm, oś X ±0,15 mm, dosunięcie taśmą ±0,20 mm, poprzecznie σ = 0,15 mm	przyjęto; próba V7
A11	Orientator: środek masy pierścienia	model masowy przekroju DIN 3760 (okucie, guma NBR 1,25 / FKM 1,95 g/cm^3, sprężyna); e × 0,7–1,3	przyjęto; próba V13
A12	Orientator: tarcie i prędkość	ścianka 0,2–0,5, cięgno 0,5–1,0, taśmy 0,6–1,0; cięgno 0,08–0,12 m/s; grubość b ± tolerancja ISO 6194-1	przyjęto; próba V13

Modele nie obejmują: zakleszczeń pierścieni w zasobniku, przejścia z okna podajnika na kładkę i skręcenia w odcinku skręconym ścianek, zatrzymania orientatora z pierścieniem dokładnie na końcu ścianek, zachowania czujnika laserowego na czarnej gumie, wad ujawniających się tylko na obracającym się wale. Program sterownika powstanie na etapie budowy, więc B7 sprawdza logikę decyzji z opisu technicznego, nie kod.

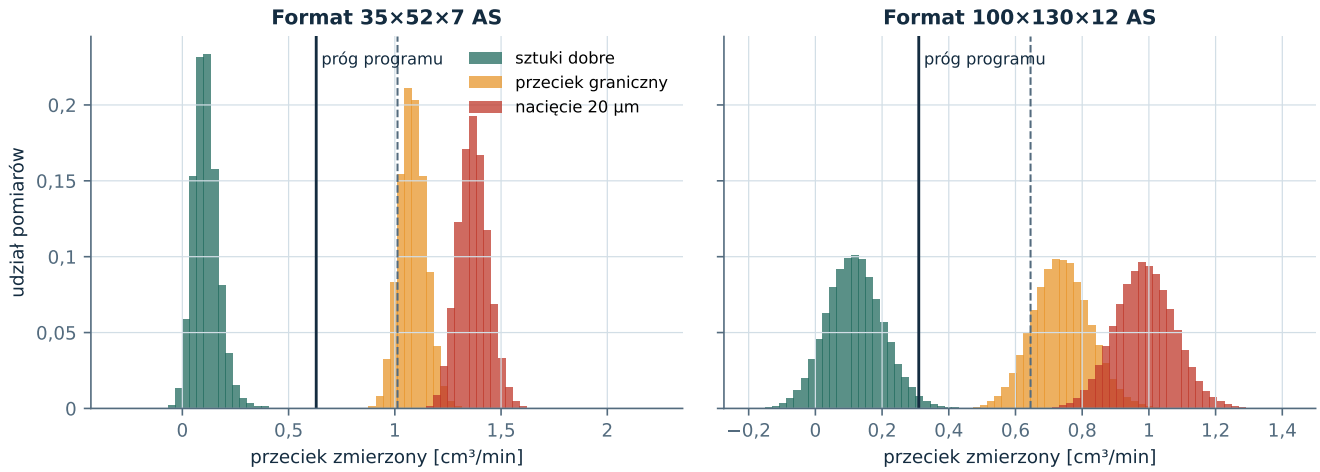
Próg odrzutu z wymagań to 1 cm^3/min przy podciśnieniu 25 kPa. Dla formatów badanych przy niższym podciśnieniu próg przelicza się proporcjonalnie (ta sama wada daje mniejszy przepływ): 0,65 cm^3/min przy 16,1 kPa dla 100×130×12 AS.

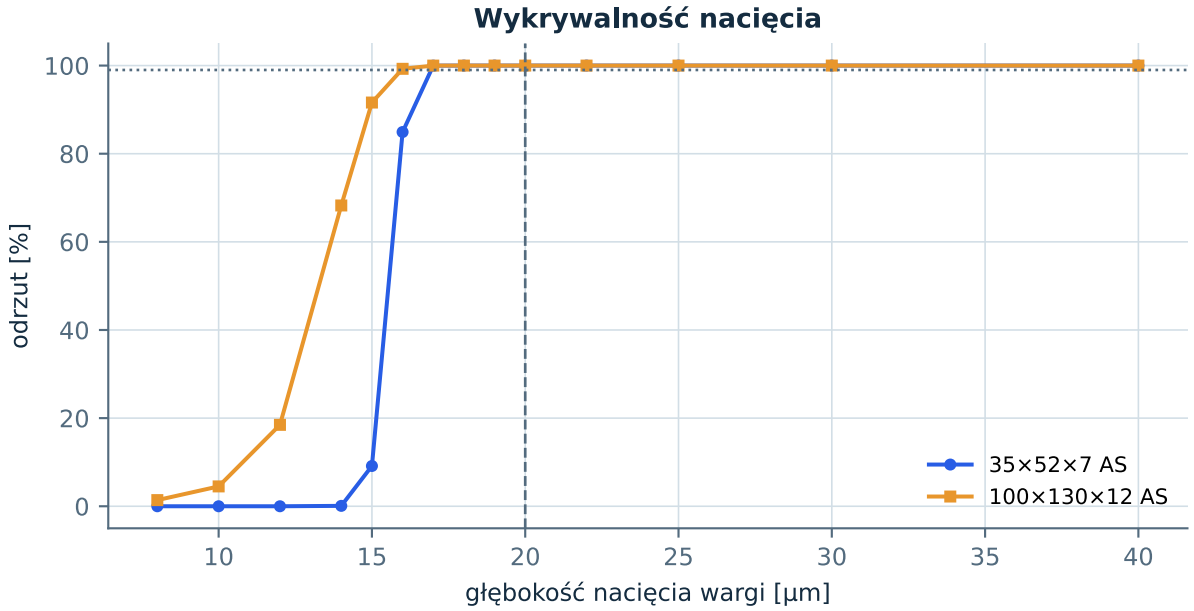
3. B1 – Wykrywalność przecieku

Model jednego pomiaru: przyrost ciśnienia w odciętej komorze, odczyty z szumem i kwantyzacją, regresja liniowa, przeliczenie na cm^3/min. Dla każdego formatu wylosowano po 200 000 pomiarów sztuki o przecieku granicznym i po 300 000 pomiarów sztuk dobrych.

Próg programu. Sztuka o przecieku granicznym nie może przejść nawet wtedy, gdy tor pokazuje o 25 % za mało (tyle błędu nie ujawni jeszcze okno LOP). Stąd próg programu = 0,75 × (średni odczyt sztuki granicznej − 3,72 odchylenia). Dla 35×52×7 AS to 0,63 cm^3/min, dla 100×130×12 AS 0,31 cm^3/min.

FORMAT	V [CM^3]	PODCIŚNIENIE PRÓBY [KPA]	PRÓG WYMAGANIA [CM^3/MIN]	ROZRZUT POMIARU [CM^3/MIN]	PRÓG PROGRAMU [CM^3/MIN]	NACIĘCIE 20 MM ODRZUCONE	NACIĘCIE WYKRYWANE W 99 % [MM]	FAŁSZYWE ODRZUTY	SZTUKA GRANICZNA PRZEPUSZCZONA PRZY CZUŁOŚCI −25 %
10×22×7 A	3,5	25,3	1,01	0,051	0,65	100 %	16,5	0,01 %	1 na 200 000
12×24×7 A	3,6	25,3	1,01	0,051	0,65	100 %	16,5	0,01 %	0 na 200 000
15×30×7 A	4,3	25,3	1,01	0,054	0,65	100 %	16,6	0,01 %	2 na 200 000
17×35×7 AS	5,2	25,3	1,01	0,057	0,64	100 %	16,5	0,02 %	3 na 200 000
20×35×7 A	4,7	25,3	1,01	0,055	0,65	100 %	16,6	0,01 %	1 na 200 000
25×42×7 AS	5,7	25,3	1,01	0,059	0,64	100 %	16,5	0,01 %	0 na 200 000
30×47×7 A	6,1	25,3	1,01	0,060	0,64	100 %	16,5	0,01 %	2 na 200 000
35×52×7 AS	6,5	25,3	1,01	0,063	0,63	100 %	16,5	0,01 %	3 na 200 000
40×62×8 AS	10,0	22,7	0,91	0,076	0,53	100 %	16,3	0,04 %	6 na 200 000
45×65×8 B	8,3	22,7	0,91	0,068	0,55	100 %	16,4	0,03 %	9 na 200 000
50×72×8 AS	11,4	22,7	0,91	0,084	0,51	100 %	16,3	0,05 %	8 na 200 000
60×80×8 A	11,4	22,7	0,91	0,084	0,51	100 %	16,3	0,06 %	7 na 200 000
70×90×10 AS	14,4	18,9	0,75	0,090	0,38	100 %	16,1	0,43 %	9 na 200 000
80×100×10 B	13,4	18,9	0,75	0,090	0,38	100 %	16,1	0,44 %	13 na 200 000
90×110×12 AS	19,5	16,1	0,65	0,077	0,33	100 %	16,0	0,41 %	11 na 200 000
100×130×12 AS	38,5	16,1	0,65	0,087	0,31	100 %	16,0	1,66 %	11 na 200 000





Przy sprawnym torze żadna z 200 000 sztuk granicznych nie przeszła w żadnym formacie. Nacięcie 15 µm (przepływ ok. połowy progu) przechodzi w małych formatach i jest odrzucane w dużych, bo tam próg programu leży niżej.

Fałszywe odrzuty zależą od tego, ile przepuszczają sztuki dobre – tego nie wiem bez próby V5:

MEDIANA PRZECIEKU SZTUK DOBRYCH	35×52×7 AS	70×90×10 AS	100×130×12 AS
0,03 cm³/min	0,01 %	0,43 %	1,7 %
0,10 cm³/min	1,67 %	7,11 %	11,3 %
0,20 cm³/min	10,40 %	24,14 %	30,7 %

Wrażliwość na założenia (sztuki dobre o medianie 0,03 cm³/min):

WARIANT	PRÓG 35×52×7 AS	FAŁSZYWE ODRZUTY	PRÓG 100×130×12 AS	FAŁSZYWE ODRZUTY	NACIĘCIE 20 MM ODRZUCONE
podstawowy	0,63	0,01 %	0,31	1,6 %	100 %
szum toru × 2	0,56	0,03 %	0,12	49,5 %	100 %
relaksacja × 3	0,63	0,09 %	0,29	30,1 %	100 %
15 odczytów/s	0,61	0,02 %	0,24	13,8 %	100 %
rozrzut objętości 8 %	0,54	0,04 %	0,27	4,2 %	100 %
wszystkie naraz	0,45	3,08 %	-0,01	86,9 %	100 %

W każdym wariancie nacięcie 20 µm jest odrzucane, bo próg wynika z rozrzutu pomiaru. Ceną są fałszywe odrzuty: dla formatów do 60×80×8 pozostają poniżej 0,1 %, dla największego formatu rosną do 1,7 % już w modelu podstawowym i do kilkudziesięciu procent przy podwojonym szumie. Największy format jest więc najsłabszym miejscem metody.

Pierścień wypełniający wnękę olejową (opcja z opisu technicznego) zmniejsza objętość komory:

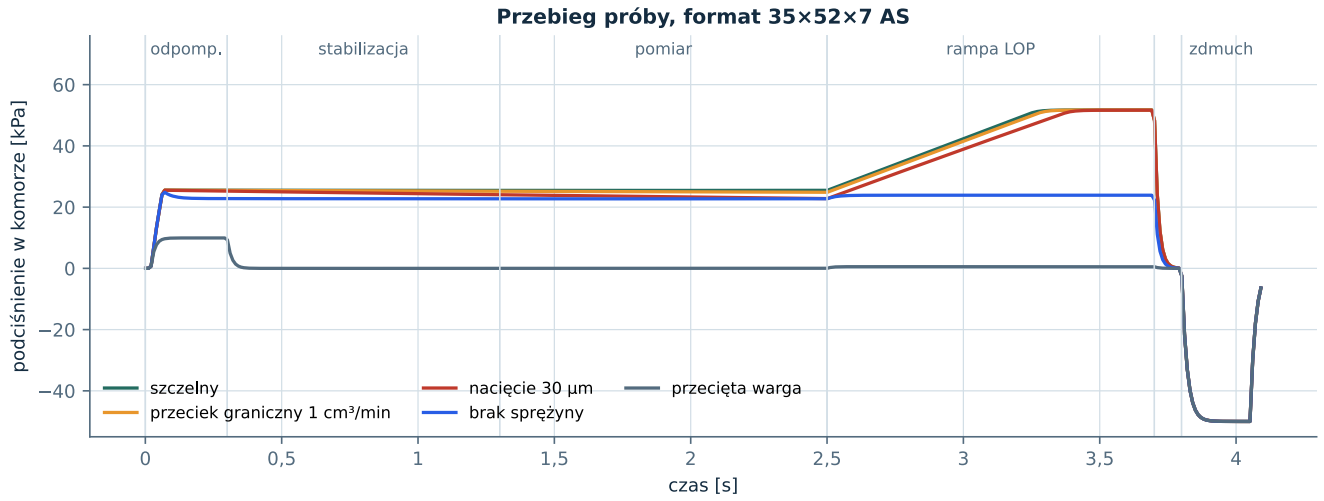
FORMAT	WYPEŁNIACZ	V [CM³]	CZAS POMIARU [S]	CYKL [S]	PRÓG PROGRAMU [CM³/MIN]	FAŁSZYWE ODRZUTY	SZT./MIN
70×90×10 AS	nie	14,4	1,28	6,33	0,38	0,43 %	9,48
70×90×10 AS	tak	9,5	1,20	6,25	0,42	0,06 %	9,60
80×100×10 B	nie	13,4	1,20	6,25	0,38	0,43 %	9,60
80×100×10 B	tak	9,3	1,20	6,25	0,43	0,04 %	9,60
90×110×12 AS	nie	19,5	1,73	6,78	0,33	0,40 %	8,85
90×110×12 AS	tak	12,0	1,20	6,25	0,32	0,53 %	9,60
100×130×12 AS	nie	38,5	2,50	7,55	0,31	1,64 %	7,95
100×130×12 AS	tak	21,6	1,92	6,97	0,33	0,31 %	8,61

Dla 100×130×12 AS wypełniacz obniża fałszywe odrzuty z 1,6 % do 0,3 % i skraca cykl o 0,58 s. Dla 90×110×12 nie pomaga: krótszy pomiar zjada zysk z mniejszej objętości.

4. B2 – Przebieg próby w czasie

Model komory z przewodem podciśnienia (12 cm³), ejektorem (85 kPa) i przewodnością kanałów 150 cm³/s; krok 1 ms. Pięć sztuk formatu 35×52×7 AS:

SZTUKA	PODCIŚNIENIE PRÓBY OSIĄGNIĘTE	CZAS ODPOMPOWANIA [S]	PRZECIEK Z POMIARU [CM³/MIN]	PLATEAU LOP [KPA]	WYNIK
szczelny	tak	0,06	0,03	51,5	dobra
przeciek graniczny 1 cm³/min	tak	0,06	1,03	51,5	braki
nacięcie 30 µm	tak	0,06	4,16	51,4	braki
brak sprężyny	tak	0,06	0,03	23,7	braki
przecięta warga	nie	–	–	–	braki

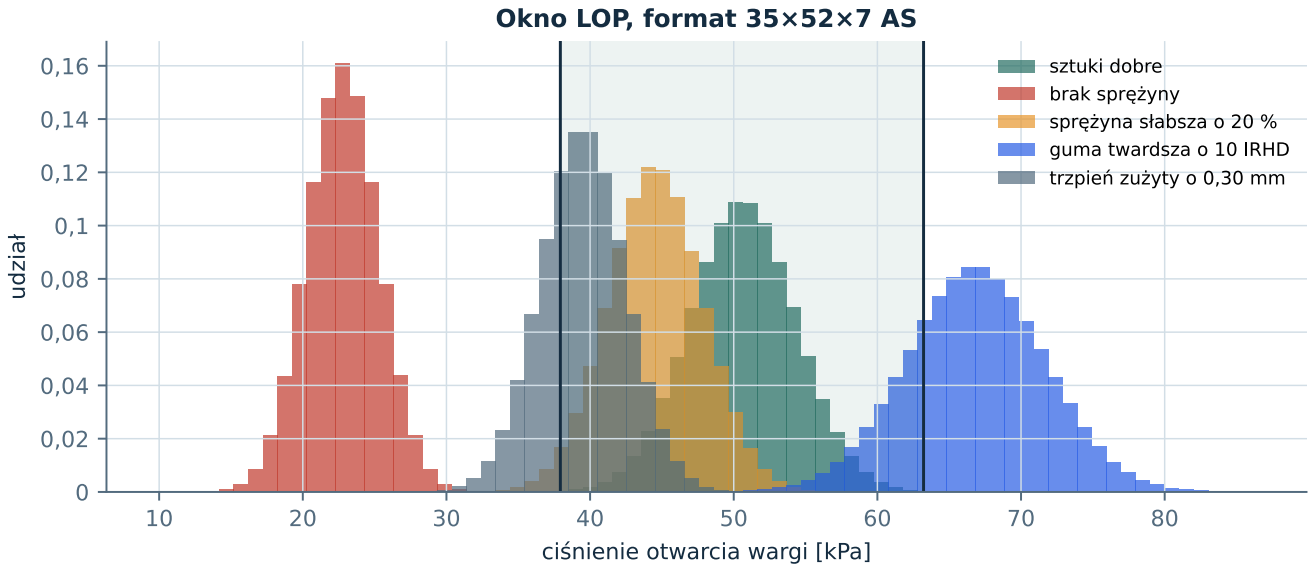


Pierścień bez sprężyny osiąga podciśnienie próby, ale warga otwiera się przy 23,7 kPa: po zamknięciu zaworu ciśnienie cofa się do tej wartości i rampa pokazuje plateau poniżej okna. Przecięta warga nie pozwala osiągnąć podciśnienia próby – odrzut w fazie 1. Odpompowanie trwa 0,06–0,09 s dla wszystkich formatów (limit 0,3 s), więc limit czasu fazy 1 odróżnia brak pierścienia od pierścienia właściwie nasuniętego.

5. B3 – Okno ciśnienia otwarcia wargi

Okno receptury ustala się z 30 sztuk dobrych: środek 50,6 kPa, granice 37,9–63,2 kPa (±25 %) dla 35×52×7 AS. Po 400 000 losowań na przypadek:

PRZYPADEK	ŚREDNIE LOP [KPA]	ODRZUCONE PRZEZ OKNO	UWAGI
sztuki dobre	50,6	0,06 %	
brak sprężyny	22,8	100 %	84 % nie utrzymuje podciśnienia próby
sprężyna słabsza o 20 %	44,6	2,16 %	
guma twardsza o 10 IRHD	66,8	77,63 %	
trzpień zużyty o 0,10 mm	47,1	0,40 %	
trzpień zużyty o 0,30 mm	39,5	29,75 %	
pierścień odwrócony	–	100 %	brak plateau w zakresie rampy



Okno wykrywa wady duże: brak sprężyny, twardszą mieszankę, pierścień odwrócony. Sprężyny słabszej o 20 % nie wykrywa – do tego potrzebny jest pomiar siły promieniowej (DIN 3761-9), którego tester nie wykonuje. Zużycie trzpienia o 0,30 mm podnosi udział braków do 30 %, co uruchamia kontrolę wzorcem (p. 9).

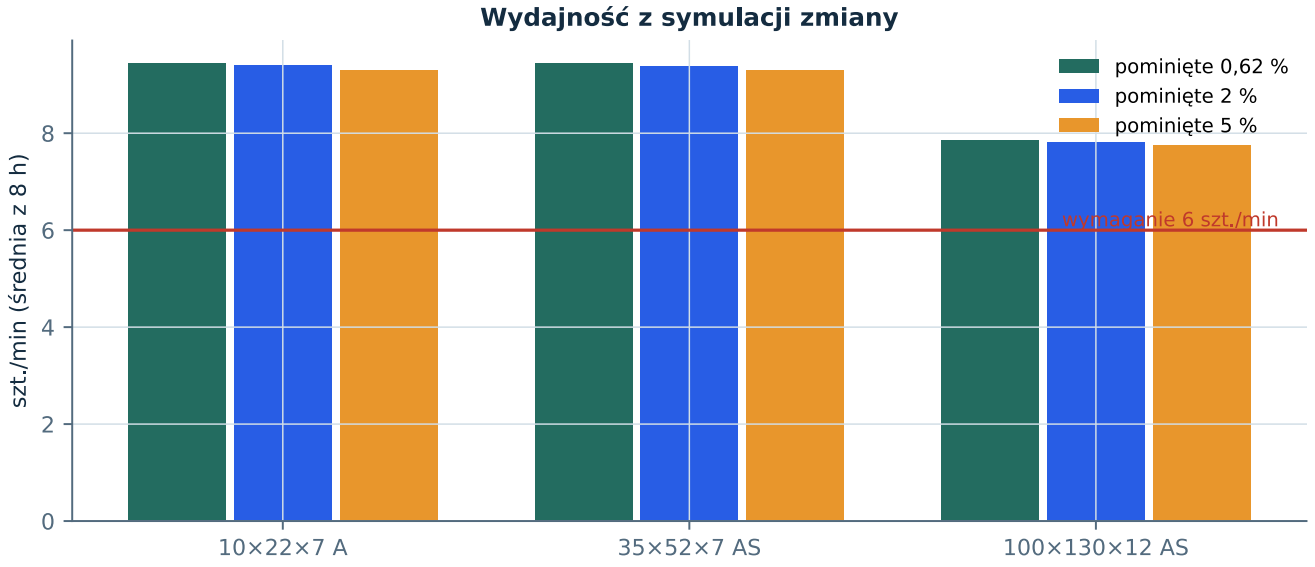
Okno LOP pokazuje też błąd czułości toru: przy odczycie zaniżonym o 20 % odpada 19 % sztuk dobrych, przy 25 % już 49 %.

6. B4 – Takt i przepływ wyrobu

Symulacja zdarzeń jednej zmiany (8 h) dla trzech formatów. Orientator zwalnia jeden pierścień po podniesieniu poprzedniego z bramki; dojazd na przenośniku mieści się w czasie próby, więc nie wydłuża cyklu. Model uwzględnia pierścienie pominięte (odwrócone lub nieczytelne – trafiają do pojemnika pominiętych, ponowne zwolnienie 2,0 s), przerwy w dopływie, 2 % braków i kontrolę wzorcem co 2000 cykli.

FORMAT	UDZIAŁ POMINIĘTYCH	ŚREDNIO [SZT./MIN]	Z OBLICZEŃ [SZT./MIN]	NAJSŁABSZE 5 % MINUT [SZT.]	POMINIĘTE NA ZMIANĘ [SZT.]	ZDOLNOŚĆ PODAJNIKA [SZT./MIN]	ZASYP WYSTARCZA NA [MIN]	POJEMNIK POMINIĘTYCH PEŁNY PO [H]
10×22×7 A	0,62 %	9,43	9,58	9	39	120	546	198,1
10×22×7 A	2,00 %	9,40	9,54	9	80	120	548	96,6
10×22×7 A	5,00 %	9,30	9,44	9	229	120	554	33,7
35×52×7 AS	0,62 %	9,44	9,58	9	31	48	98	44,6
35×52×7 AS	2,00 %	9,38	9,54	9	102	48	98	13,6
35×52×7 AS	5,00 %	9,29	9,44	9	243	48	99	5,7
100×130×12 AS	0,62 %	7,84	7,93	7	20	24	11	6,5
100×130×12 AS	2,00 %	7,81	7,90	7	77	24	11	1,7

FORMAT	UDZIAŁ POMINIĘTYCH	ŚREDNIO [SZT./MIN]	Z OBLICZEŃ [SZT./MIN]	NAJSŁABSZE 5 % MINUT [SZT.]	POMINIĘTE NA ZMIANĘ [SZT.]	ZDOLNOŚĆ PODAJNIKA [SZT./MIN]	ZASYP WYSTARCZA NA [MIN]	POJEMNIK POMINIĘTYCH PEŁNY PO [H]
100×130×12 AS	5,00 %	7,75	7,84	7	183	24	11	0,7



Każdy format przekracza 6 szt./min także przy 5 % pominiętych; najwolniejszy jest 100×130×12 AS (7,75 szt./min), bo ma najdłuższy pomiar. Udział pominiętych zmienia wydajność o mniej niż 2 % – liczy się przede wszystkim jako ręczna obsługa: pojemnik pominiętych (KLT, 6,4 l) mieści 16 pierścieni 100×130×12 AS, więc przy 5 % pominiętych trzeba go opróżniać co 0,7 h. Sterownik liczy pominięte i sygnalizuje zapełnienie (wyjście K13).

Zasobnik 34 l mieści ok. 86 pierścieni 100×130×12 AS – to 11 min pracy; przy największych formatach tester trzeba zasilać na bieżąco. Podajnik zabierakowy ma dla tego formatu zdolność 24 szt./min wobec zużycia 7,8 – pracuje w trybie przerywanym (stop przy zajętej kładce, bariera B13).

7. B5 – Chwyt: trafienie kasety i siły

Położenie pierścienia w bramce V względem osi kasety, 2 000 000 losowań na format. Kaseta ma fazę wejściową i luz promieniowy; pierścień leży swobodnie na taśmie i może się dosunąć.

FORMAT	BŁĄD POŁOŻENIA 99,9 % [MM]	NAJWIĘKSZY [MM]	WYCHWYT KASETY [MM]	CHYBIENIA [PPM]	SIŁA NASUNIĘCIA +30 % [N]	SIŁA OSI Z [N]	ZAPAS	TRZYMANIE TARCIEM [N]	SIŁA OD MASY I PRZYSPIESZENIA [N]
10×22×7 A	0,65	0,95	1,17	0	9	147	17,17	3	0,02
35×52×7 AS	0,65	0,87	1,17	0	30	147	4,91	9	0,07
100×130×12 AS	0,65	0,95	1,17	0	86	147	1,72	25	0,55

Zapas siły nasunięcia dla 100×130×12 AS wynosi 1,72 przy tarciu wyższym o 30 %. To mało: jeśli próby pokażą większą siłę, reduktor siłownika Z podnosi się z 0,30 na 0,40 MPa (196 N). Pierścień trzyma się na trzpieniu z zapasem co najmniej 46-krotnym wobec sił od masy i przyspieszenia osi X (3,8 m/s^2). Belka portalu ugina się pod siłą osi Z o 0,07 mm (przyjęto moment bezwładności 68 cm^4 – do potwierdzenia z kartą profilu).

8. B6 – Rozpoznanie formatu i przezbrojenie

Receptura wynika z pomiaru wzorca czujnikiem laserowym (niepewność D 0,15 mm, d 0,20 mm, b 0,07 mm). Najbliższa para w typoszeregu to 17×35×7 i 20×35×7: dzieli je 15 odchyleń standardowych pomiaru. Na 3 200 000 pomiarów: 0 pomyłek receptury; 0,013 % pomiarów poza tolerancją (maszyna prosi o powtórzenie).

KROK PRZEZBROJENIA	NAJKRÓCEJ [S]	TYPOWO [S]	NAJDŁUŻEJ [S]
polecenie zmiany: opróżnienie toru do pominiętych, pobranie wzorca	20	20	25
opróżnienie zasobnika i pojemnika pominiętych	60	80	125

KROK PRZEZBROJENIA	NAJKRÓCEJ [S]	TYPOWO [S]	NAJDŁUŻEJ [S]
wymiana kasety	15	20	40
kostka orientatora na nowe b	6	10	25
RESET, pomiar wzorca, wybór receptury	15	15	15
kontrola wzorcem	15	15	15
zasyp i start	15	20	45



Średnio 3,42 min, 95 % zmian w 3,90 min, najdłuższa z 200 000 wylosowanych 4,56 min (kryterium próby V9: ≤ 5 min).

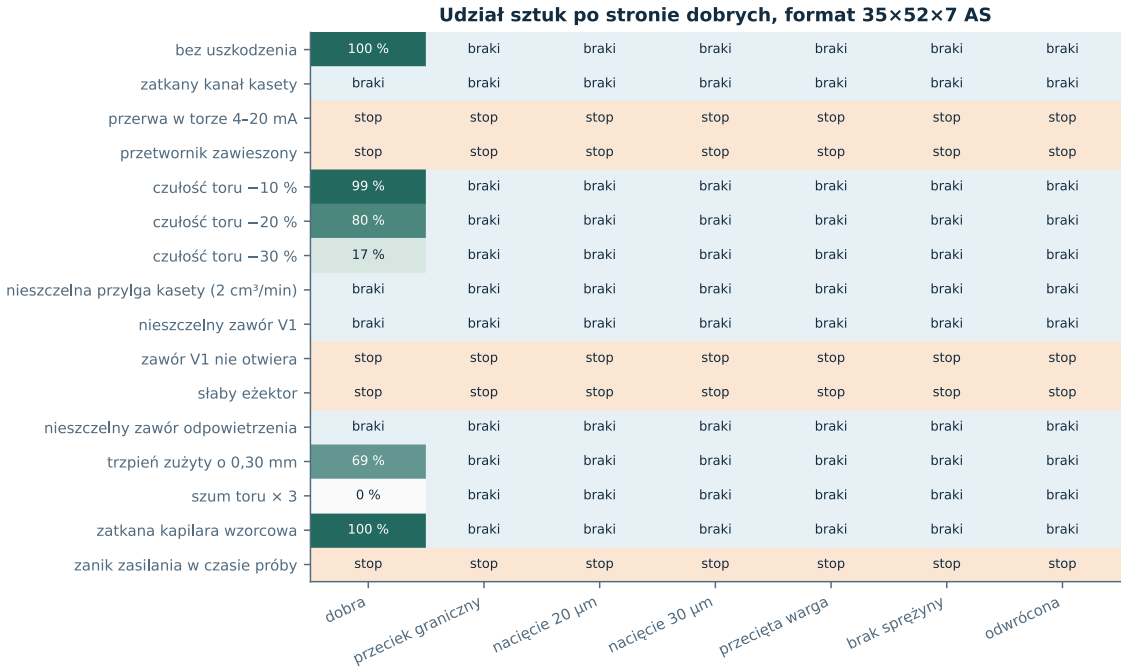
Kontrola nieszczelnością wzorcową (średnia z 3 pomiarów, pasmo ±10 %):

BŁĄD CZUŁOŚCI TORU	KONTROLA NIEZALICZONA
+0 %	0,19 %
-5 %	2,77 %
-10 %	43,18 %
-15 %	96,16 %
-20 %	100 %
-30 %	100 %
+15 %	96,34 %

Kontrola wykrywa błąd czułości od ok. 15 %. Fałszywy alarm zdarza się raz na ok. 526 kontroli – program powtarza wtedy kontrolę przed blokadą.

9. B7 – Logika decyzji przy uszkodzeniach toru

Każde z 16 uszkodzeń połączono z 7 rodzajami sztuk, w formatach 35×52×7 AS i 100×130×12 AS, po 4 000 cykli. Wynik DOBRY wymaga czterech warunków naraz: przeciek poniżej progu programu, LOP w oknie, podciśnienie próby utrzymane, rozrzut reszt regresji nie większy niż dwukrotność wzorcowego.



Żadna z 768 000 sztuk wadliwych nie trafiła na stronę dobrych (224 kombinacji, 896 000 cykli łącznie). Uszkodzenia kończą się zatrzymaniem albo odrzutem sztuk dobrych; te drugie ujawnia udział braków:

USZKODZENIE UTAJONE	UDZIAŁ ODRZUCONYCH SZTUK DOBRYCH	CYKLE DO SERII 5 BRAKÓW	CYKLE DO ZADZIAŁANIA REGUŁY OKNA
czułość toru –20 %	20 %	3975	54
czułość toru –30 %	83 %	9	50
nieszczelna przylga kasety (2 cm³/min)	100 %	5	50
trzpień zużyty o 0,30 mm	31 %	485	50
szum toru × 3	100 %	5	50

Seria 5 kolejnych braków ujawnia czułość zaniżoną o 20 % dopiero po ok. 3975 cykli. Reguła okna (8 braków w ostatnich 50 cyklach) robi to po 54 cyklach, a przy zwykłym udziale braków 2,5 % uruchamia zbędną kontrolę w 8 % przebiegów po 20 000 cykli.

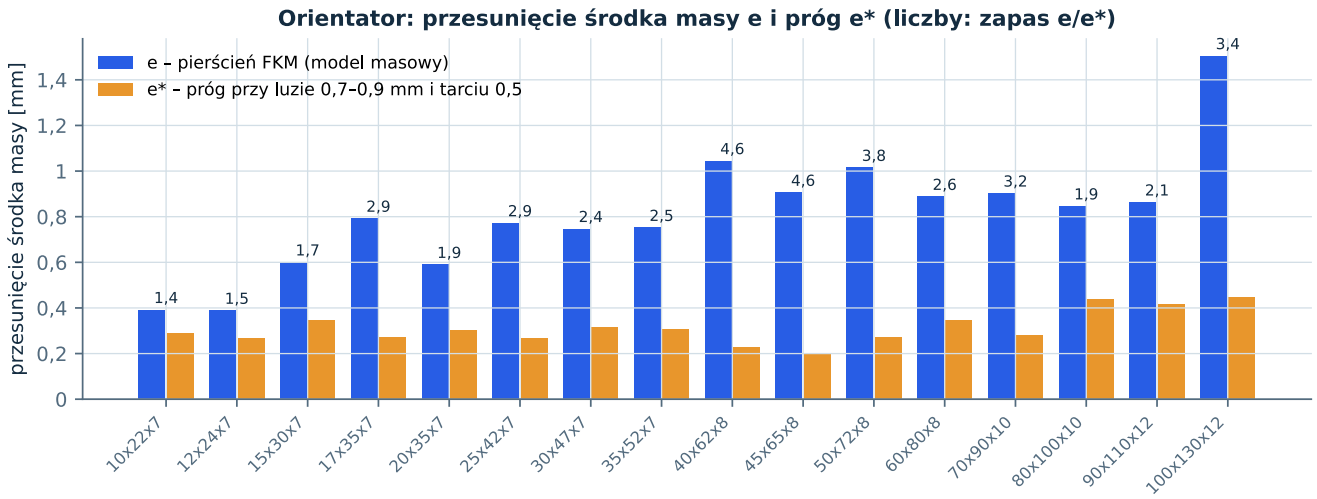
Zatkana kapilara wzorcowa nie zmienia wyniku sztuk – blokuje produkcję przy najbliższej kontroli wzorcem. Zanik zasilania zostawia pierścień nad lejem braków.

10. B8 – Orientator

Model w MuJoCo 4.0.1: pierścień jako bryła swobodna o masie, momentach bezwładności i przesunięciu środka masy z modelu masowego przekroju; cięgno ⌀8 i taśmy jako ciała napędzane prędkościowo; ścianki szczeliny b + 0,4; tarcie i prędkości losowane z zakresów A11–A12. Pierścień stawiany na cięgnie z losową stroną okucia i losową ścianką oporową; wynik po zejściu ze ścianek: na czole tylnym (dobrze) albo na olejowym (odwrócony).

FORMAT	PRZEBIEGI POPRAWNE	E NAJMNIEJSZE W PRÓBIE [MM]	LUZ NAJWIĘKSZY [MM]	PRZYPADEK SKRAJNY: E / LUZ [MM]	WYNIK SKRAJNY	PRÓG E* [MM]	E FKM [MM]	ZAPAS E/E*
10×22×7 A	30/30	0,28	0,69	0,27 / 0,70	odwrócony	0,288	0,39	1,4
12×24×7 A	30/30	0,29	0,69	0,27 / 0,70	odwrócony	0,267	0,39	1,5
15×30×7 A	30/30	0,43	0,69	0,42 / 0,70	dobrze	0,347	0,60	1,7
17×35×7 AS	30/30	0,58	0,70	0,55 / 0,70	dobrze	0,272	0,79	2,9
20×35×7 A	30/30	0,45	0,69	0,41 / 0,70	dobrze	0,304	0,59	1,9
25×42×7 AS	30/30	0,54	0,67	0,54 / 0,70	dobrze	0,265	0,77	2,9
30×47×7 A	30/30	0,55	0,69	0,52 / 0,70	dobrze	0,315	0,75	2,4
35×52×7 AS	30/30	0,54	0,70	0,53 / 0,70	dobrze	0,305	0,75	2,5
40×62×8 AS	30/30	0,74	0,68	0,73 / 0,70	dobrze	0,228	1,04	4,6

FORMAT	PRZEBIEGI POPRAWNE	E NAJMNIEJSZE W PRÓBIE [MM]	LUZ NAJWIĘKSZY [MM]	PRZYPADEK SKRAJNY: E / LUZ [MM]	WYNIK SKRAJNY	PRÓG E* [MM]	E FKM [MM]	ZAPAS E/E*
45×65×8 B	30/30	0,66	0,68	0,63 / 0,70	dobrze	0,198	0,91	4,6
50×72×8 AS	30/30	0,71	0,68	0,71 / 0,70	dobrze	0,270	1,01	3,8
60×80×8 A	30/30	0,67	0,68	0,62 / 0,70	dobrze	0,347	0,89	2,6
70×90×10 AS	30/30	0,71	0,68	0,63 / 0,70	dobrze	0,282	0,90	3,2
80×100×10 B	30/30	0,65	0,65	0,59 / 0,70	dobrze	0,436	0,85	1,9
90×110×12 AS	30/30	0,66	0,86	0,60 / 0,90	dobrze	0,418	0,86	2,1
100×130×12 AS	30/30	1,11	0,89	1,05 / 0,90	dobrze	0,447	1,50	3,4



Wszystkie 480 przebiegi dały pierścień stroną olejową do góry; przy zerze niepowodzeń górna granica udziału błędnych (95 %, Clopper–Pearson) wynosi 0,62 %. Przypadek skrajny łączy naraz: e = 0,7 wartości dla FKM, pierścień najcieńszy w tolerancji (luz 0,7 mm), oparcie o ściankę po złej stronie, tarcie 0,5 i cięgno przesunięte o 0,05 mm w niekorzystną stronę. Formaty 10×22×7 i 12×24×7 wtedy się odwracają (zapas 1,36 i 1,45); od 15×30×7 zapas wynosi co najmniej 1,7.

LUZ W SZCZELINIE [MM]	0,30	0,45	0,55	0,70
10x22	0,075	0,075	0,188	0,309
12x24	0,150	0,112	0,225	0,309

Próg e* rośnie z luzem: przy luzie do 0,55 mm (pierścienie od środka tolerancji w górę) zapas małych formatów wynosi 1,7–2,1. Słabym punktem są więc cienkie partie dwóch najmniejszych formatów (zalecenie Z6). Błąd orientatora nie daje fałszywego braku: odczyt laserowy przy bramce rozpoznaje pierścień odwrócony i kieruje go do pojemnika pominiętych. Wynik dotyczy odcinka od cięgna do taśm; przejście z okna podajnika i odcinek skręcony nie były symulowane (próba V13).

11. B9 – Przylga kasety

Przylga ze stali 1.4112 (56–58 HRC) z powłoką DLC dociska gumę czoła olejowego. Komora próbna kończy się na przylgdze, więc podciśnienie próby działa na pole komory A_k i dociska przylgę z siłą k-krotnie większą niż wynikałoby z pola samej przylgi (samodocisk).

FORMAT	PRZYLGA ⌀ [MM]	TULEJA WE WNĘCE [MM]	K = A_K / A_P	NACISK PRZY POBRANIU [MPA]	NACISK W LOCIE [MPA]	NACISK NA KOŃCU RAMPY LOP [MPA]	V KOMORY [CM³]
10×22×7 A	18,6–20,2	–	4,0	2,88	0,102	0,265	3,5
12×24×7 A	20,6–22,2	–	4,2	2,59	0,105	0,274	3,6
15×30×7 A	26,6–28,2	–	5,6	1,99	0,141	0,367	4,3
17×35×7 AS	31,6–33,2	–	6,9	1,67	0,175	0,455	5,2
20×35×7 A	31,6–33,2	–	5,8	1,65	0,148	0,385	4,7
25×42×7 AS	38,6–40,2	–	6,9	1,32	0,176	0,457	5,7
30×47×7 A	43,6–45,2	–	7,1	1,14	0,180	0,469	6,1
35×52×7 AS	48,6–50,2	–	7,3	1,00	0,185	0,482	6,5
40×62×8 AS	58,6–60,2	–	9,8	0,81	0,222	0,578	10,0

FORMAT	PRZYLGA ⌀ [MM]	TULEJA WE WNĘCE [MM]	K = A_K / A_P	NACISK PRZY POBRANIU [MPA]	NACISK W LOCIE [MPA]	NACISK NA KOŃCU RAMPY LOP [MPA]	V KOMORY [CM³]
45×65×8 B	58,2–60,2	6,4	5,9	0,63	0,133	0,347	8,3
50×72×8 AS	68,6–70,2	–	10,1	0,66	0,229	0,595	11,4
60×80×8 A	76,6–78,2	–	9,3	0,55	0,211	0,550	11,4
70×90×10 AS	86,6–88,2	–	9,5	0,46	0,179	0,466	14,4
80×100×10 B	93,0–95,0	8,4	6,2	0,32	0,116	0,302	13,4
90×110×12 AS	106,6–108,2	–	9,7	0,33	0,157	0,407	19,5
100×130×12 AS	126,6–128,2	–	15,0	0,25	0,242	0,628	38,5

Nacisk w locie jest co najmniej 4,0-krotnie większy od podciśnienia próby, bo działa samodocisk; przy pobraniu dochodzi siła osi Z. Pierścień PU kasety wydania A był częścią zużywalną po stronie testera – jego uszkodzenie daje przeciek tła, czyli fałszywe braki. Przylga stalowa z DLC nie ma takiej części; odkształca się guma wyrobu, nowa w każdym cyklu. Uszkodzenie powłoki ujawnia kontrola wzorcem (przeciek tła; w B7 jako „nieszczelna przylga").

12. Zalecenia z wydania A i nowe

NR	ZALECENIE	PODSTAWA	SKUTEK	STAN W WYDANIU B
Z1	Kaseta 100×130×12 AS z pierścieniem wypełniającym w standardzie	B1, B4	fałszywe odrzuty 1,6 % → 0,3 %; cykl −0,58 s	otwarte – decyzja po próbie V5
Z2	Próg programu z pasmem ochronnym liczony dla formatu przy uczeniu receptury	B1	próg 0,31–0,65 cm³/min zamiast 1,0	do programu sterownika (etap budowy)
Z3	Kontrola wzorcem po 8 brakach w 50 cyklach (zamiast serii kolejnych braków)	B7	błąd czułości 20 % ujawniony po 54 cyklach	do programu sterownika
Z4	Kontrola rozrzutu reszt regresji w każdym pomiarze	B7	zakłócony tor nie daje wyniku DOBRY	do programu sterownika
Z5	Kontrola nieszczelnością wzorcową: średnia z 3 pomiarów, pasmo ±10 %, powtórzenie przed blokadą	B6	wykrywa błąd czułości od ok. 15 %	do programu sterownika
Z6	Opcja: kostka sześciokątna z odstępem 7,2 mm dla cienkich partii 10×22×7 i 12×24×7 (grubość zmierzona przy dolnej granicy)	B8	zapas orientatora 1,4 → ok. 2	nowe – decyzja po próbie V13
Z7	Pomiar e na próbce każdego nowego wyrobu (próba nożowa, 10 szt.) przed dopuszczeniem formatu	B8	potwierdza założenie A11	nowe
Z8	Licznik pominiętych i sygnał zapełnienia pojemnika pominiętych w recepturze	B4	16 szt. dla 100×130×12 AS	nowe – w programie

13. Co rozstrzygną próby

ZAŁOŻENIE	PRÓBA Z OPISU TECHNICZNEGO	JEŚLI WYNIK BĘDZIE GORSZY
Szum toru i przeciek tła (A2, A4)	V1	dłuższy pomiar albo wypełniacze także w mniejszych kasetach
Relaksacja gumy i temperatura (A5)	V1, V6	dłuższa stabilizacja (rezerwa taktu z B4)
Przeciek sztuk dobrych (A7)	V5	fałszywe odrzuty wg tabeli w p. 3
Rozrzut LOP (A8)	V3	szersze okno i częstsza kontrola wzorcem
Udział pominiętych i podawanie (A9)	V7, V8	częstsze opróżnianie pojemnika pominiętych; większy pojemnik
Środek masy i tarcie w orientatorze (A11, A12)	V13	pozycja kostki „cienka partia" (Z6); dla wyrobu o e < e* – poza zakresem orientatora
Przylga na gumie czoła (B9)	V14	zmiana szerokości pasa przylgi; dla typów B – głębokości tulei
Położenie w bramce V (A10)	V7	większa faza wejściowa kasety
Reakcja na uszkodzenia	V10	poprawka logiki przed odbiorem

14. Odtworzenie wyników

Obliczenia B1–B7 i B9 wykonuje moduł symulacji projektu SIM-T na danych modelu 3D wydania B; generator liczb losowych ma stałe ziarno 20261126, więc ponowne uruchomienie daje te same liczby (ok. 1 min). B8 to zapisane wyniki modelu MuJoCo (katalog `sim_b`: model `tipsim11.py`, Monte Carlo `mc_b8.py`, próg `estar_b8.py`); ponowne przeliczenie trwa ok. 40 min na 2 rdzeniach.