

PrusaSlicer 2.9.4

Tom III: Mega zaawansowany przewodnik

Fizyka procesu, kalibracje matematyczne, granice

Drukarka: Prusa CORE One — dysza HF 0.4 mm

Materiały: PLA / PETG / ASA / PC / PA-CF / TPU

Założenia: znajomość Tomu I i II, podstawowa kalibracja drukarki

Treść: dla osób, które chcą wycisnąć z FDM ostatnie 5%

Spis treści

I. FIZYKA I MATEMATYKA

1. Co realnie dzieje się w hot-endzie — fizyka procesu
2. Matematyka maksymalnego przepływu
3. Anizotropia wytrzymałości — dane liczbowe
4. Skurcz termiczny — obliczenia kompensacji
5. Mechanika mostków i zwisów

II. KALIBRACJE MATEMATYCZNE

6. Flow ratio — kalibracja przez single wall
7. Linear Advance — pełna procedura z analizą
8. Maksymalny przepływ — test KAMP/Ellis
9. Cooling tower — kalibracja chłodzenia
10. Retraction tower — strojenie retrakcji
11. Temperature tower — okno temperaturowe
12. PA pattern test — wzorzec drabinkowy

III. MATERIAŁY ZAAWANSOWANE

13. PA-CF (Nylon Carbon) — profil i procedura
14. PC i PC blend — wysoka temperatura
15. TPU 95A i poniżej — elastomery
16. PVA, BVOH — filamenty rozpuszczalne
17. Filamenty hybrydowe (silk, glow, dual)

IV. SPECYFIKA CORE ONE

18. Aktywna kontrola komory
19. Load cell — czujnik nacisku pierwszej warstwy
20. Akcelerometr i Input Shaper na żywo
21. Filament runout sensor
22. Prusa Connect — integracja zdalna

V. TECHNIKI ZAAWANSOWANE

23. Iron mode — prasowanie pro
24. Fuzzy skin — matowa faktura
25. Adaptive cubic vs Lightning — matematyka wzorów
26. Vase mode advanced — spirala 3D
27. Print-in-place — mechanizmy drukowane razem
28. Embedded inserts — wbudowywanie elementów w wydruk
29. Multi-color M600 — pro techniki

VI. G-CODE I AUTOMATYZACJA

30. Conditional G-code — wyrażenia warunkowe
31. Custom macros — biblioteka gotowych

- 32.** Post-processing — skrypty Python
 - 33.** PrusaSlicer command-line
- VII.** ANALIZA i DIAGNOSTYKA
- 34.** Read the print — czytanie wydruku
 - 35.** Diagnostic patterns — atlas defektów
 - 36.** Granice fizyki FDM — czego nie da się zrobić

CZĘŚĆ I — Fizyka i matematyka

1. Co realnie dzieje się w hot-endzie

Filament 1,75 mm wchodzi do hot-endu w stanie stałym, opuszcza go w stanie półpłynnym jako ścieżka 0,4 × 0,2 mm. Pomiędzy odbywają się trzy procesy: kompresja, topnienie, ekstruzja. Każdy ma swój limit, przekroczenie którego daje wadliwy wydruk.

1.1 Strefa kompresji

Pierwsze 5–8 mm hot-endu, gdzie filament jest jeszcze stały, ale ściśnięty pomiędzy kółkiem zębatym Nextrudera a heat-breakiem. Tutaj rodzi się problem zwany "heat creep" — ciepło z heater bloku wędruje w górę, miękka warstwa filamentu pęcznieje i utyka. CORE One ma aktywne chłodzenie radiatora hot-endu specjalnie po to.

1.2 Strefa topnienia (melt zone)

W heater bloku (długość ~12 mm dla dyszy HF) filament musi się stopić i przyjąć temperaturę dyszy. Czas pobytu w tej strefie zależy od prędkości filamentu:

$$t_{\text{topnienia}} = \text{długość_strefy} / \text{prędkość_filamentu}$$

Dla dyszy 0,4 mm i prędkości druku 200 mm/s przy warstwie 0,2 mm, prędkość filamentu wynosi ~7,3 mm/s, więc czas topnienia to $12 / 7,3 \approx 1,6$ s. To jest minimum dla PETG, granica dla PLA. Powyżej tej prędkości materiał wychodzi z hot-endu nie do końca stopiony — przyklejanie warstw spada o 30–50%.

1.3 Strefa ekstruzji (dysza)

Otwór dyszy ma długość 0,8–1,2 mm. Tu materiał formuje się w ścieżkę. Gradient ciśnienia powoduje, że stopiony plastik wypycha się z dyszy. Linear Advance kompensuje fakt, że ciśnienie nie znika natychmiast po zwolnieniu — "reszkowe" ciśnienie powoduje wyciek po zatrzymaniu (oozing).

Dlaczego dysza HF jest "high-flow"

Dysza HF od Prusy ma DŁUŻSZY heater block (~16 mm zamiast 12 mm) i WIĘKSZE wnętrze dyszy (otwór 0,4 ale komora przed nim 0,8 mm). To zwiększa czas pobytu filamentu w strefie topnienia, pozwalając drukować ~2× szybciej bez utraty przyleganności warstw. Ceną jest większa bezwładność termiczna — szybkie zmiany temperatury (np. między modelami z różnymi kolorami) trwają dłużej.

2. Matematyka maksymalnego przepływu

Przepływ objętościowy (volumetric flow rate) to najważniejsza metryka wydajności hot-endu. Mierzy ile materiału na sekundę wychodzi z dyszy:

$$Q [\text{mm}^3/\text{s}] = \text{wysokość_warstwy} \times \text{szerokość_ekstruzji} \times \text{prędkość_druku}$$

Przykład: $0,2 \text{ mm} \times 0,45 \text{ mm} \times 200 \text{ mm/s} = 18 \text{ mm}^3/\text{s}$

2.1 Co ogranicza przepływ

Trzy fizyczne czynniki:

- **Moc grzałki** — ile energii cieplnej dostarcza w jednostce czasu. CORE One: 40 W. Topnienie 1g PLA wymaga ok. 240 J. Maksymalny teoretyczny przepływ termicznie: $40 / 240 = 0,17 \text{ g/s} = \sim 140 \text{ mm}^3/\text{s}$. To DUŻO ponad realny limit.
- **Lepkość polimeru w temp. dyszy** — im wyższa, tym wolniej płynie. PETG @ 240°C ma 2–3× wyższą lepkość niż PLA @ 215°C.
- **Czas na pełne stopienie** — filament wychodzący zbyt szybko jest częściowo niestopiony. To jest najbardziej praktyczne ograniczenie.

2.2 Realne limity

Materiał	Dysza 0.4	Dysza HF 0.4	Dysza 0.6	Dysza HF 0.6
PLA standardowy	11 mm ³ /s	24 mm ³ /s	20 mm ³ /s	35 mm ³ /s
PLA premium (Prusament, Polymaker)	13 mm ³ /s	26 mm ³ /s	22 mm ³ /s	38 mm ³ /s
PETG standardowy	8 mm ³ /s	20 mm ³ /s	15 mm ³ /s	28 mm ³ /s
Prusament PETG	10 mm ³ /s	24 mm ³ /s	18 mm ³ /s	32 mm ³ /s
ASA / ABS	10 mm ³ /s	18 mm ³ /s	16 mm ³ /s	26 mm ³ /s
PC / PC blend	8 mm ³ /s	16 mm ³ /s	14 mm ³ /s	22 mm ³ /s
PA (Nylon)	8 mm ³ /s	16 mm ³ /s	14 mm ³ /s	22 mm ³ /s
PA-CF (Nylon CF)	6 mm ³ /s	12 mm ³ /s	10 mm ³ /s	18 mm ³ /s
PETG-CF	7 mm ³ /s	14 mm ³ /s	12 mm ³ /s	20 mm ³ /s
TPU 95A	5 mm ³ /s	8 mm ³ /s	8 mm ³ /s	12 mm ³ /s
TPU 85A (b. miękki)	3 mm ³ /s	5 mm ³ /s	5 mm ³ /s	8 mm ³ /s

Przy danym maks. przepływie, slicer automatycznie ogranicza prędkość każdego typu ekstruzji. Gdy wpisana w profilu prędkość wymagałaby przekroczenia maks. przepływu — slicer ją obniży. Widzisz to w podglądzie cięcia jako rozbieżność między "prędkością ustawioną" a "prędkością rzeczywistą".

Reguła kciuka — bezpieczne 80%

Drukowanie przy 100% deklarowanego maks. przepływu daje akceptowalne, ale nie idealne wyniki. Drukowanie przy 80% daje wyraźnie lepszą jakość warstw i mniej ryzyka kłogowania (zatkania). Dla profili produkcyjnych ustawiaj maks. przepływ na 80% wartości testowanej.

3. Anisotropia wytrzymałości — dane liczbowe

Druk FDM jest z natury rzeczy anizotropowy — wytrzymałość w osi Z (między warstwami) jest 30–60% mniejsza niż w osi X/Y (wzdłuż warstwy). Projektowanie bez tej wiedzy daje części, które łamią się tam, gdzie nikt się nie spodziewał.

3.1 Tabela wytrzymałości — kierunki sił

Materiał	Rozciąg. XY [MPa]	Rozciąg. Z [MPa]	Strata Z vs XY	Komentarz
PLA standard	55	32	-42%	Krucha porażka warstwowa
Prusament PLA	60	40	-33%	Lepsze przyleganie warstw
PETG	47	38	-19%	PETG ma najlepsze Z/XY
ASA / ABS	40	20	-50%	Bardzo słaby w Z bez komory
ASA / ABS w komorze 60°C	40	32	-20%	Komora drastycznie poprawia Z
PC	65	30	-54%	Wymaga komory
PA (Nylon)	70	55	-21%	Najlepszy stosunek
PA-CF	85	45	-47%	CF wzmacnia tylko XY

3.2 Wniosek projektowy

Każdą część obciążoną mechanicznie projektuj i orientuj tak, żeby siły działały WZDŁUŻ warstw, nie WSZERZ. Klasyczny błąd — drukowanie wieszaka pionowo, gdzie ciężar wisi prostopadle do warstw — daje 40% wytrzymałości względem wieszaka drukowanego płasko.

3.3 Wpływ liczby obrysów

Dla PLA standardowej grubości 4 mm:

Obrysy	Wypełnienie	Wytrzym. XY [MPa]	Sztywność [GPa]	Wpływ
2	20% gyroid	32	1,8	Standard
3	20% gyroid	42	2,3	+30% wytrzymałości
4	20% gyroid	50	2,7	+56% (Twój STRUCTURAL)
5	20% gyroid	55	2,9	Plateau
3	10% gyroid	38	2,1	Wypełnienie ma drugorzędny wpływ

Obrysy	Wypełnienie	Wytrzymał. XY [MPa]	Sztywność [GPa]	Wpływ
3	50% gyroid	48	2,4	Tylko +14% mimo 5× więcej materiału
3	100% (solid)	55	2,8	Wagowo nieefektywne

Wniosek: dla wytrzymałości DODAJ OBRYSY, nie podnoś wypełnienia. Każdy dodatkowy obrys daje +10–15% wytrzymałości. Każde dodatkowe 10% wypełnienia gyroid powyżej 20% daje tylko +2–3%.

4. Skurcz termiczny — obliczenia kompensacji

Każdy polimer kurczy się przy stygnięciu z temperatury topnienia do pokojowej. Skurcz wyrażany jest jako procent wymiaru oryginalnego. Dla PLA to 0,3–0,5%, dla PETG 0,5–0,7%, dla ABS 1,5–2%.

4.1 Skurcz a wymiary modelu

Dla wydruku 100 mm × 100 mm × 100 mm:

Materiał	Skurcz [%]	Realny wymiar po wystygnięciu	Kompensacja w PrusaSlicer
PLA	0,3%	99,7 mm	Kompensacja XY: +0,3%
PETG	0,5%	99,5 mm	Kompensacja XY: +0,5%
ASA / ABS	1,5%	98,5 mm	Kompensacja XY: +1,5%
PC	0,7%	99,3 mm	Kompensacja XY: +0,7%
PA (Nylon)	1,5–2%	98,0–98,5 mm	Kompensacja XY: +1,5%
PA-CF	0,5%	99,5 mm	CF redukuje skurcz
TPU	1,2%	98,8 mm	TPU zmienia kształt po druku

4.2 Procedura kalibracji skurczu

- 1. Wydrukuj kostkę 100 × 100 × 100 mm w danym filamencie.
- 2. Po pełnym wystygnięciu (24 godziny — to ważne!) zmierz suwmiarką w 3 miejscach każdej osi.
- 3. Oblicz średni wymiar i procent niedokładności.
- 4. W Filamenty → Zaawansowany → Kompensacja skurczu XY wpisz wartość kompensacyjną.
- 5. Dla osi Z zwykle skurcz < 0,1%, więc Kompensacja Z = 0%.

$$\text{kompensacja [\%]} = ((\text{wymiar_zaprojektowany} - \text{wymiar_realny}) / \text{wymiar_realny}) \times 100$$

5. Mechanika mostków i zwisów

Most to ścieżka biegnąca w powietrzu między dwoma punktami podparcia. Sukces zależy od: prędkości druku, chłodzenia, długości, materiału. Fizyka:

Tuż po opuszczeniu dyszy materiał jest płynny. Pod własną wagą zaczyna się powieszać. Czas potrzebny na zastygnięcie zależy od:

- Temperatura materiału (im niższa tym szybciej krzepnie)
- Średnica ścieżki (cieńsza = szybciej)
- Chłodzenie aktywne (wentylator)
- Temperatura otoczenia (komora)

5.1 Empiryczne maksymalne długości mostów

Materiał	Wentyl. 30%	Wentyl. 60%	Wentyl. 100%	Z modyfikatorem
PLA	12 mm	20 mm	30 mm	40+ mm
PETG	8 mm	15 mm	20 mm	25 mm
ASA	5 mm	8 mm	—	—
PC	5 mm	10 mm	—	—
PA	8 mm	12 mm	15 mm	20 mm

"Z modyfikatorem" oznacza modyfikator nakładający lokalnie: prędkość mostu 25 mm/s, wentylator 100%, „grube mosty”, przepływ +5%. Łączny efekt — mosty 2× dłuższe niż w standardzie.

5.2 Pierwsza warstwa mostka

Pierwsza warstwa mostu jest ciągnięta w powietrzu — ścieżka utrzymuje się między dwoma punktami podparcia tylko dzięki napięciu powierzchniowemu częściowo zastygłego polimeru. Druga i kolejne warstwy mają już na czym leżeć (na zastygłej pierwszej), więc mogą być normalne.

Slicer w trybie „Mosty” specjalnie chłodzi i zwalnia tylko PIERWSZĄ warstwę mostka. Kolejne traktuje jak zwykłe wypełnienie.

CZĘŚĆ II — Kalibracje matematyczne

Następujące procedury kalibracyjne wykonuje się raz na nowy filament (lub po zmianie marki). Razem zajmują ~3 godziny, ale dają precyzję wymiarową +/- 0,05 mm i jakość nieosiągalną z fabrycznymi profilami.

6. Flow ratio — kalibracja przez single wall

Najważniejsza pojedyncza kalibracja. Flow ratio (Współczynnik ekstruzji) mówi, ile naprawdę materiału wychodzi z dyszy w stosunku do kalkulacji slicera. Wartość 1,00 = idealne dopasowanie. Realne wartości po kalibracji to zwykle 0,93–0,98 dla nowego filamentu, 1,02–1,05 dla starego, zwilgotniałego.

6.1 Procedura — single wall test

- **1. Pobierz model "Single Wall Test"** — pusta kostka 30 × 30 × 20 mm bez wypełnienia, bottom layers 0, top layers 0, obrysy 1.
- **2. Skonfiguruj profil:**
 - Tryb wazy: tak (vase mode)
 - Szerokość ekstruzji obrysów: 0,45 mm
 - Wysokość warstwy: 0,2 mm
 - Prędkość obrysów: 30 mm/s (powolnie)
- 3. Wytnij i wydrukuj.
- 4. Po wystygnięciu zmierz suwmiarką grubość ścianki w 4 miejscach (każda strona).
- 5. Oblicz średnią.
- 6. Nowy flow ratio:

$$\text{flow_ratio_nowy} = \text{flow_ratio_stary} \times (0,45 / \text{średnia_grubość})$$

Przykład: drukowałeś z flow 1,00 i wyszło 0,46 mm grubości. Nowy flow = $1,00 \times (0,45 / 0,46) = 0,978$.

Wpisujesz 0,978 do pola "Współczynnik ekstruzji" w profilu filamentu. Powtarzasz test — powinno wyjść w +/- 0,02 mm od 0,45 mm.

Dlaczego to działa lepiej niż kostka

Kostka kalibracyjna 20×20×20 mm mierzy WYMIAR ZEWNĘTRZNY, na który wpływają: flow, ekspansja termiczna, retrakcja, zanikanie ciśnienia, kalibracja Z. Single wall test mierzy TYLKO grubość ścieżki — czyli bezpośrednio flow. To metoda eliminująca wszystkie pozostałe zmienne.

7. Linear Advance — pełna procedura

Linear Advance kalibrowane po Flow ratio. Zła kolejność da fałszywe wyniki — bez prawidłowego flow widoczne defekty są mieszanką flow i K, niemożliwe do rozdzielenia.

7.1 Test pattern

Pobierz „K-factor calibration pattern” lub wygeneruj G-code z teachingtechyt.github.io/calibration. Wzór składa się z 16 linii prostokątnych, każda drukowana z inną wartością K. Linie mają sekwencję: szybko-wolno-szybko-wolno żeby K mógł się objawić.

7.2 Wartości testowe

Materiał	Zakres K do testu	Komentarz
PLA	0,01 – 0,06 z krokiem 0,005	Skup się na 0,02–0,04
PETG	0,02 – 0,08 z krokiem 0,005	Skup się na 0,04–0,06
ABS	0,01 – 0,05 z krokiem 0,005	Niska wartość
TPU	0,1 – 0,4 z krokiem 0,02	Bardzo wysoka — duży zakres
PA	0,03 – 0,1 z krokiem 0,005	Średnia

7.3 Analiza wyniku

Patrzysz na wzór z góry. Szukasz linii, która ma:

- **Brak "brzuszków" na początku** (nadmiar materiału po przyspieszeniu)
- **Brak "szczypiel" na końcu** (brak materiału po zwolnieniu)
- **Stałą szerokość przez całą długość** od początku do końca

Gdy znajdziesz najczystsza linię, odczytaj jej K i wpisz w G-code startowym filamentu:

```
M900 K0.045 ; Linear Advance dla PETG
```

7.4 Wartości docelowe dla typowych filamentów

Filament	K (typowo)	Uwagi
Prusament PLA	0,030	Fabryczne
Generic PLA (eSun, Polymaker)	0,030–0,040	Test wymagany
PLA Silk	0,025–0,035	Niższa lepkość
Prusament PETG	0,045	Fabryczne
Generic PETG	0,040–0,065	Bardzo zmienne
Prusament ASA	0,040	Fabryczne
Generic ABS	0,030–0,050	Test wymagany
PC blend	0,040	Stabilne
PA / Nylon	0,060–0,080	Wyższe
PA-CF	0,050–0,070	CF zmniejsza K
TPU 95A	0,1–0,3	Wymaga testu — bardzo zmienne

8. Maksymalny przepływ — test KAMP/Ellis

Test KAMP (Klipper Adaptive Meshing & Purging) został zaadaptowany do PrusaSlicer przez społeczność. Wzór drukuje pojedynczą ściankę z postępującą prędkością, aż do momentu gdy hot-end nie nadąża z topnieniem.

8.1 Procedura

- **1. Pobierz „Max Flow Test”** — pojedyncza ścianka z 10 stopniowych segmentów.
- 2. Każdy segment ma inną prędkość filamentu — od 5 mm/s do 30 mm/s.
- **3. Slicer** : wyłącz akceleracje (set wszystkie na 100 mm/s²) — chcesz testować PRZEPŁYW, nie inercję.
- **4. Drukuj** i obserwuj. Punkt, w którym ścianka traci jednolitą fakturę i zaczyna mieć zaniki = limit.

8.2 Konwersja prędkości filamentu na przepływ

$$Q [mm^3/s] = (\pi \times d^2/4) \times \text{prędkość_filamentu} [mm/s]$$

Dla filamentu 1,75 mm: $Q = 2,405 \times \text{prędkość_filamentu}$.

Przykład: jeśli ścianka traci jakość przy prędkości filamentu 9 mm/s, $Q = 2,405 \times 9 = 21,6$ mm³/s. To jest TWÓJ realny limit.

8.3 Co zrobić z wynikiem

Otrzymaną wartość pomnożysz przez 0,8 (margines bezpieczeństwa) i wpisujesz w Filamenty → Zaawansowany → Maksymalny przepływ. Slicer już sam obniży prędkości żeby nie przekroczyć tego limitu.

Wpływ temperatury na przepływ

+10°C dyszy zwiększa przepływ o ~25–35%. Jeśli planujesz drukować szybko — kalibruj maks. przepływ przy GÓRNEJ granicy temperatury filamentu (np. PETG @ 250°C zamiast 240°C). Nie wpływa to na jakość warstw, ale daje zauważalny zysk czasu.

9. Cooling tower — kalibracja chłodzenia

Klasyczny test — wieża rosnąca w pionie z uwypukleniami pod różnymi kątami i wystającymi pinami. Pokazuje przy jakiej kombinacji wentylator/temperatura zwisy są czyste.

9.1 Co testujesz

- Wentylator 0%/30%/60%/100% (każdy poziom 5 mm wysokości)
- Razem z różnymi temperaturami (zmiana co 20 mm wysokości)

9.2 Co obserwować

- Czystość zwisów — czy nici „kapią”
- Powierzchnia ścian — czy są błyszczące (przegrzanie) czy matowe
- Adhezja warstw — sprawdź czy nie pęka warstwa pod wentylatorem 100%

9.3 Wniosek dla PETG

Wieża PETG przy wentylatorze 100% wykazuje rozwarstwienia. Przy 0% — zlewa się i traci szczegóły zwisów. Sweet spot: 30% dla pierwszych warstw, 50% dla niższych zwisów, 60% dla mostów. Dynamiczne prędkości wentylatora w PrusaSlicer (Twoje włączone) robią to automatycznie.

10. Retraction tower

Wieża z dwoma kolumnami w niewielkiej odległości. Druk zmusza głowicę do ciągłego przeskakiwania między nimi, generując pajęczyny przy złym tuningu retrakcji.

10.1 Test długości

Każde 10 mm wysokości to inna długość retrakcji: 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 mm dla direct-drive (Nextruder). Dla bowdenu 2, 3, 4, 5 mm.

10.2 Test prędkości

Drugi test — stała długość, zmienna prędkość: 25, 35, 45, 55 mm/s. CORE One Nextruder lubi 35–45 mm/s.

10.3 Wynik

Wybierasz NAJMNIEJSZĄ retrakcję, przy której nici zniknęły. Większa retrakcja niż konieczna powoduje:

- Stringing pochodzący z heat-creep
- Zwiększone zużycie filamentu w drive gear
- Możliwość kliknięć ekstrudera (jamming)

11. Temperature tower

Wieża drukowana z różnymi temperaturami dyszy w segmentach. Każdy segment 10 mm wysoki ma inną temperaturę — od najwyższej zalecanej do najniższej.

Materiał	Min temp.	Max temp.	Krok	Idealna
PLA	190°C	230°C	5°C	215°C
PETG	230°C	260°C	5°C	245°C
PETG HF	240°C	270°C	5°C	255°C
ASA	230°C	260°C	5°C	245°C
PC	260°C	290°C	5°C	275°C
PA	250°C	280°C	5°C	265°C

Po wydruku oceniasz każdy segment pod kątem: przyleganie warstw (próbujesz złamać), pajęczyny, kapanie zwisów, jakość mostów. Idealna temperatura = najniższa, przy której wszystko jest dobrze.

Wstawiasz wynik do G-code startowego filamentu lub bezpośrednio w pole "Temperatura dyszy". W PrusaSlicer 2.9 możesz nawet zdefiniować różne temperatury dla różnych typów ekstruzji (eksperymentalna funkcja).

12. PA pattern test (Pressure Advance)

Specyficzny test — zamiast linii drabinkowych drukuje się prostokątny obrys z różnymi K. Lepsze niż klasyczny K-factor test bo testuje narożniki — najtrudniejszy fragment dla Linear Advance.

12.1 Wzór

Każda linia obrysu ma:

- Prosty odcinek 30 mm szybki (200 mm/s)
- Narożnik 90°
- Prosty odcinek 30 mm wolny (50 mm/s)
- Narożnik 90° w drugą stronę
- Powtórka 4 razy dla każdej wartości K

12.2 Co obserwować

- **Narożniki przy K za niskim** — wybrzuszone (ringi po wewnętrznej stronie)
- **Narożniki przy K za wysokim** — „odpływy” — niedopełnienie po zewnętrznej stronie
- **Idealne K** — ostre narożniki bez wybruszeń ani odpływów, jednolita szerokość przez całą długość

12.3 Korelacja z prędkością

Linear Advance K wyznaczone przy 200 mm/s nie zawsze działa idealnie przy 100 mm/s. Empirycznie różnica jest <5% — można ignorować. Ale dla bardzo dokładnych wydruków profesjonalnie kalibruje się K osobno dla każdej prędkości i liniowo interpoluje.

CZĘŚĆ III — Materiały zaawansowane

13. PA-CF (Nylon Carbon) — profil i procedura

Najmocniejszy materiał, jaki praktycznie można drukować na CORE One. Sztwywny, lekki, odporny na ciepło do 90°C, używany w częściach dronów, mocowaniach kamer, narzędziach. Trudny w druku — wymaga komory, suszenia, hartowanej dyszy.

Wymóg sprzętowy

PA-CF zawiera 15–20% rąbanego włókna węglowego, które MOCNO ścierają zwykłą mosiężną dyszę — po 1 kg filamentu otwór dyszy poszerza się z 0,4 do 0,42–0,45 mm. CORE One HF ma fabryczną dyszę hartowaną, więc nie ma problemu — sprawdź jednak dokumentację swojej konkretnej dyszy.

13.1 Profil drukowy PA-CF

Parametr	Wartość	Uzasadnienie
Wysokość warstwy	0,15–0,20 mm	Cieńsze warstwy poprawiają adhezję Z
Obrysy	4–5	Wytrzymałość pochodzi z obrysów

Parametr	Wartość	Uzasadnienie
Top/Bottom	5/4	Nylon nie lubi cienkiej powłoki
Wypełnienie	30–40% gyroid	Wysokie dla części obciążanych
Wzór wypełnienia	Cubic lub Gyroid	Wzmacnia w 3D
Generator	Arachne	Zawsze
Temperatura dyszy	270°C (250–290 zakres)	Wyższa niż czysty PA
Temperatura stołu	100–110°C	Maksimum dla CORE One
Komora	55°C	WYMAGANA — bez niej rozwarstwienia
Wentylator	0–10%	PA-CF nie chłodzić aktywnie
Prędkość obrysów zewn.	30–40 mm/s	Wolno dla jakości
Prędkość wypełnienia	60–80 mm/s	CF ogranicza maks. przepływ
Maks. przepływ	12 mm ³ /s	CF + lepkość = wolniej
Pierwsza warstwa	30 mm/s, 220°C stół	Bezpiecznie
Brim	8 mm + raft	PA się kurczy mocno
Retrakcja	1,0 mm @ 35 mm/s	Wyższa niż dla PLA
Z-hop	0,3 mm rampa	Zapobiega zaczepom

13.2 Procedura suszenia

PA-CF jest bardzo higroskopijne — chłonie wilgoć w godzinach. NIGDY nie używaj nowo otwartej szpuli bez suszenia. Procedura:

- **1. Suszenie** — suszarka filamentu 80°C × 12 godzin (NIE krócej)
- **2. Po suszeniu od razu do dry-boxa** — dry-box podłączony do drukarki rurą PTFE, z silikazelem w środku
- **3. Podczas druku — komora ZAMKNIĘTA** — dla utrzymania niskiej wilgotności
- **4. Po druku — szpula od razu w dry-boxie** — nie zostawiaj na nocy w drukarce z otwartymi drzwiami

13.3 Po-druku obróbka

- **Hartowanie** — PA-CF wytrzymuje hartowanie w gorącej wodzie 80°C × 4 godziny — wytrzymałość rośnie o 15–20%
- **Polerowanie** — papier ścierny gradacja 400→800→1500 daje przyjemny matowy finisz
- **Lakierowanie** — PA przyjmuje lakier akrylowy bez gruntowania (po lekkim szlifowaniu)

14. PC i PC blend

Polikarbonat — najwytrzymalszy materiał na uderzenia (HDT 115°C, izotropowy do warstw). Trudny: wymaga 290°C dyszy i 110°C stołu. Czysty PC drukuje się tylko w komorze ogrzewanej — CORE One ledwie ma temperaturę by go obsłużyć.

14.1 PC blend zamiast czystego PC

Dlatego producenci robią PC „blend” — mieszanki PC z 10–30% ABS lub PETG, które obniżają temperaturę topnienia do 270–280°C. PC blend (Polymax PC, Prusament PC Blend) drukuje się jak grzeciwy ABS w komorze 50°C.

Parametr	Wartość	Komentarz
Temperatura dyszy	275°C	Czysty PC: 290°C
Temperatura stołu	110°C	Maksimum
Komora	50°C	Drzwi zamknięte
Suszenie	80°C × 8 godzin	Zawsze
Wentylator	0–20%	Bardzo niski
Prędkość	40–60 mm/s	Standardowo
Brim	10 mm + magigoo	PC bardzo się kurczy

14.2 Kiedy PC blend

- Obudowy elektronicznych — odporność na temperaturę i UV
- Części motoryzacyjne (samochód, motocykle) — odporność na ciepło silnika
- Narzędzia warsztatowe — wytrzymałość na uderzenia

15. TPU 95A i poniżej — elastomery

TPU jest klasyfikowany twardością Shore A — 95A to najtwardsze (jak guma do mazania), 80A średnio elastyczne (jak gumka do włosów), 70A bardzo elastyczne (jak silikon). Każde wymaga innych ustawień.

15.1 Profil dla TPU 95A

Parametr	Wartość	Komentarz
Wysokość warstwy	0,2 mm	Standardowo
Obrysy	3	Daje kształt
Wypełnienie	10–20% gyroid	Lub 100% dla pełnego elastomeru
Temperatura dyszy	230°C	TPU 95A
Temperatura stołu	60°C	Standardowo
Komora	drzwi otwarte	Nie potrzeba
Wentylator	30–50%	Umiarkowanie
Prędkość	20–30 mm/s	BARDZO wolno
Maks. przepływ	8 mm³/s	Niski
Retrakcja	0,5 mm	Krótko — TPU pochłania ciśnienie

Parametr	Wartość	Komentarz
Linear Advance K	0,15–0,30	Bardzo wysokie

15.2 Triki dla TPU

- **Sucha szpula = sukces** — TPU bardziej higroskopijne niż PA
- **TPU 70A i niższe NIE działają** na CORE One bez dodatkowych modyfikacji — filament jest tak miękki, że ekstruder go zgina zamiast wypchać. Wymaga konwersji direct-drive na bowden bardzo krótki.
- **Lekko zmiękczyć wszystkie ścieżki** — flow ratio 1,02 zamiast 1,00 — TPU lepiej się skleja przy minimalnym nadmiarze

16. PVA, BVOH — filamenty rozpuszczalne

Filamenty rozpuszczalne w wodzie — zamiast podpór zwykłych, drukujesz podpory PVA, które potem wsadzasz pod kran i znikają. CORE One bez MMU3 nie obsługuje tego. Z MMU3 — tak.

16.1 Porównanie

	PVA	BVOH	Komentarz
Rozpuszczalnik	Woda zwykła	Woda + alkohol	
Czas rozpuszczania	8–12 godzin	2–4 godziny	BVOH szybsze
Temperatura dyszy	190–210°C	215–225°C	BVOH wyższa
Pasuje z	PLA	PLA, PETG, ABS	BVOH uniwersalniejszy
Cena vs PLA	10–15×	8–12×	Drogie
Higroskopia	ekstremalna	wysoka	Suszenie obowiązkowe

Filamenty rozpuszczalne dają niesamowite efekty dla figurek z wewnętrznymi geometriami (puste wnętrza, ruchome elementy zatopione). Praktycznie tylko dla osób z MMU3 i konkretnym uzasadnieniem.

17. Filamenty hybrydowe

Filamenty z dodatkami nadającymi efekty wizualne lub funkcjonalne. Drukują się jak baza, ale wymagają drobnych korekt.

Typ	Co dodaje	Konsekwencje druku
PLA Silk	Połysk metaliczny, gładkość	Niższa temp. ~205°C, niższa K (-30%), uważaj na maks. przepływ (-15%)
PLA Glow / Phosphorus	Świeci po naświetleniu	Bardzo ścierający (jak CF) — twarda dysza
PLA Wood	Drewniany wygląd, niska gęstość	Większa średnica ścieżki +10%, niższa temperatura

Typ	Co dodaje	Konsekwencje druku
PLA Metal-fill (mosiądz/miedź)	Prawie metaliczna ciężkość	Bardzo ścierające, dysza twarda WYMAGANA, slow speed
PLA Dual / Tri-color	2-3 kolory w jednej żyłce	Drukuj w trybie wazy lub solid — efekt zależy od grubości ścianki
PETG Translucent	Półprzezroczyste	Wzór wypełnienia widoczny — wybierz Concentric/Gyroid
PLA + glitter	Brokat	Nie blokuje jak metal, normalne ustawienia

CZĘŚĆ IV — Specyfika CORE One

CORE One to najnowsza, najbardziej zaawansowana drukarka Prusy. Ma kilka funkcji, które nie istniały w MK4 i które warto zrozumieć żeby z nich korzystać.

18. Aktywna kontrola komory

CORE One ma w komorze dwa elementy: czujnik temperatury i wentylator wymiany powietrza (ostatecznie też grzałkę w niektórych wersjach). To pierwsza Prusa z aktywną kontrolą komory.

18.1 Tryby pracy

- **Wentylator komory na stałe** — PLA. Otwiera się okno, powietrze cyркуluje, temperatura komory $\sim 25^{\circ}\text{C}$.
- **Komora pasywna** — PETG. Drzwi zamknięte, brak wentylacji, temperatura naturalnie rośnie do $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$ od ciepła stołu.
- **Komora aktywna** — ABS, ASA, PC. Wentylator wymiany powietrza WYŁĄCZONY, drzwi zamknięte. Temperatura osiąga $50\text{--}55^{\circ}\text{C}$.

18.2 Parametr w slicerze

Filamenty → Filament → Komora — Nominalna i Minimalna. „Nominalna” to docelowa temperatura komory (slicer dba żeby drukarka nie przekroczyła). „Minimalna” — minimalna do rozpoczęcia druku (drukarka czeka aż się rozgrzeje).

18.3 Aktywne grzanie komory (jeśli posiadasz)

Wybrane konfiguracje CORE One (uwaga: nie wszystkie modele mają to fabrycznie, sprawdź swoją wersję) mają grzałkę komory. Pozwala drukować PA, PC, PEI w stabilnej temperaturze.

19. Load cell — czujnik nacisku

CORE One zamiast czujnika indukcyjnego (jak MK4) ma czujnik load-cell w głowicy. Działa to tak: drukarka dotyka stołu fizycznie samą dyszą, a load-cell rejestruje moment kontaktu. Plusy:

- **Niezależność od materiału stołu** — działa zarówno na stalowej PEI jak na szkłe, gumie, papierze (np. naklejce z wzorem)
- **Lepsza precyzja** — $\pm 0,005\text{ mm}$ vs $\pm 0,02\text{ mm}$ dla czujnika indukcyjnego
- **Brak konieczności kalibracji wysokości czujnika** — bo czujnikiem jest sama dysza

19.1 Jak to wpływa na pierwszą warstwę

Konsekwencja praktyczna — pierwsza warstwa CORE One jest fenomenalnie powtarzalna. Live Z, gdy raz ustawione, działa praktycznie bez korekt przez setki wydruków. Jeśli jednak masz problemy z pierwszą warstwą, sprawdź:

- **Czystość dyszy** — nawet drobny śladzik nagrzanego materiału fałszuje pomiar load-cell
- **Mocowanie głowicy** — jakkolwiek luz mechaniczny psuje pomiar

- **Temperatura dyszy w czasie pomiaru** — Prusa kalibruje przy konkretnej temperaturze (170°C dla PLA), bo materiał na dyszy zachowuje się różnie

20. Akcelerometr i Input Shaper na żywo

CORE One ma akcelerometr MEMS przyklejony do głowicy. Mierzy drgania w trzech osiach z częstotliwością 1,3 kHz. Daje to drukarce zdolność do:

- **Automatycznej kalibracji Input Shapera** — znajduje częstotliwości rezonansowe i programuje filtr
- **Wykrywania ruchów anormalnych** — zatkana dysza, pęknięty pasek, blokada — drukarka pauzuje
- **Adaptive resonance compensation** — eksperymentalnie, zmiana parametrów w czasie druku

20.1 Częstotliwości typowe dla CORE One

Oś	Częstotliwość	Filtr
X	55–65 Hz	MZV
Y	45–55 Hz	MZV (czasem EI)
Z	Nie kalibrowane	Z jest powolny

Wartości różnią się drukarka od drukarki o +/- 5–10 Hz. To normalne — zależy od sztywności konkretnej ramy, dokręcenia śrub, wagi spool holdera. Po kalibracji każda CORE One działa w swoim optimum.

20.2 Konsekwencje dla slicera

Po kalibracji Input Shaper, można ZWIĘKSZYĆ przyspieszenia w slicerze o 50% bez ringingu. Dla CORE One dobrze skalibrowanej:

- Przyspieszenie obrysów zewn. — z 1500 do 2500 mm/s²
- Przyspieszenie wypełnienia — z 6000 do 10000 mm/s²
- Maksymalne X/Y — z 10000 do 12000 mm/s²

21. Filament runout sensor

Czujnik mechaniczny w Nextrude rejestrujący ruch filamentu. Dwa przypadki:

- **Brak filamentu** — szpula skończona. Drukarka pauzuje, czeka na nową szpulę
- **Filament zablokowany / złamany** — pasek nie obraca się mimo, że Nextruder wciąga. Pauza.

21.1 Co możesz zrobić w slicerze

Standardowe zachowanie wystarcza dla 99% zastosowań. Dla zaawansowanych — w G-code startowym filamentu możesz wstawić M591 do konfiguracji czujnika (czułość, dystans bez ruchu który wywołuje pauzę).

```
M591 D0 S1 P0.5 ; runout sensor: enabled, sensitivity 0.5 mm
```

22. Prusa Connect — integracja zdalna

Prusa Connect to platforma chmurowa Prusy do zdalnego nadzoru drukarek. CORE One łączy się przez WiFi i raportuje stan w czasie rzeczywistym. Funkcje:

- **Wysyłka G-code zdalnie** — przeciąganie pliku z PrusaSlicer prosto do drukarki
- **Live monitoring** — widzisz temperatury, postęp, time remaining
- **Powiadomienia** — SMS/email gdy wydruk skończy się
- **Opcjonalnie kamera** — widzisz wydruk na żywo (CORE One ma slot na kamerę)
- **Statystyki** — ile wydruków, ile filamentu, ile czasu, koszty

22.1 Konfiguracja w slicerze

Zakładka Prusa Connect w PrusaSlicer pozwala wysłać G-code prosto do drukarki bez SD card. Wystarczy zalogować się do konta Prusa Account. Idealne do print farms — możesz mieć kilka CORE One i wysłać wydruki do tej, która jest wolna.

CZĘŚĆ V — Techniki zaawansowane

23. Iron mode — prasowanie pro

Wcześniej omawiałem prasowanie powierzchniowe. Tu pokażę, jak je dostroić dla niemalże lustrzanej powierzchni.

23.1 Parametry zaawansowane

Parametr	Standardowo	Pro
Włącz prasowanie	tak	tak
Rodzaj prasowania	Najwyższe powierzchnie	Wszystkie powierzchnie zwarte
Przepływ	15%	10–12%
Odstęp między ścieżkami	0,1 mm	0,07 mm (gęstsze)
Prędkość prasowania	15 mm/s	10 mm/s

23.2 Iron mode + monotonic top layer

Połączenie monotonicznego wzoru top layer + agresywnego prasowania daje powierzchnię prawie nieodróżnialną od injection molding. Jest jeden warunek: top layer MUSI być w pełni płaski (nie ma sensu prasować pochyłej powierzchni).

23.3 Limitacje

- Działa na PLA i PLA Silk doskonale
- Na PETG zostawia smugi (PETG „klei się” do dyszy)
- ABS / ASA / PC zwykle bez efektu
- Wydłuża czas druku o 5–15% na warstwę z prasowaniem

24. Fuzzy skin — matowa faktura

Fuzzy skin dodaje pseudolosowe drgania do ruchów obrysów zewnętrznych — efekt to faktura jak chropowatego papieru. Maskuje warstwy, daje matowy wygląd, ułatwia uchwyt (np. uchwyty narzędzi).

24.1 Parametry

Parametr	Wartość	Komentarz
Fuzzy Skin	Wszystkie powierzchnie zewn.	Lub tylko zewn. ścianki
Grubość fuzzy skin	0,3 mm	Jak intensywnie się drży
Odległość punktów	0,75 mm	Częstotliwość drgań

Fuzzy skin zwiększa zużycie czasu o ~5%, bo dyszy musi wykonać dużo dodatkowych mikroruchów. Maskuje też zauważalnie ringing — jeśli masz drukarkę bez Input Shapera, fuzzy skin uczyni ringing niewidocznym.

24.2 Najlepsze zastosowania

- Uchwyty narzędzi — nie ślizgają się w ręce
- Replicas modeli skalnych — natural look
- Cosplay — grube zbroje wyglądają jak metal po malowaniu
- Doniczki, donice — kamiennego look

25. Adaptive cubic vs Lightning — matematyka wzorów

Dwa najnowsze wzory wypełnienia, oba dynamicznie zmieniają gęstość w zależności od potrzeb modelu. Różnica filozoficzna:

25.1 Adaptive cubic

Wzór sześcienny (jak cubic), ale z większymi komórkami w środku modelu i mniejszymi blisko obrysów i top layer. Algorytm: oktree podział przestrzeni na bloki, gęstsze bloki gdzie geometria modelu wymaga, rzadsze gdzie nie.

- Oszczędność materiału vs cubic: 20–30%
- Wytrzymałość praktycznie identyczna jak cubic
- Czas cięcia +30% (więcej obliczeń)
- Estetyka ciekawsza w półprzezroczystym filamencie

25.2 Lightning

Drzewiasta sieć, która ROZBIEGA się tylko tam, gdzie potrzeba podpory dla top layera. Jak korzenie drzewa, które zbiegają się do najgrubszego pnia w dolnej części, a w górze rozsiewają się jako gałęzie pod każdym milimetrem top layera.

- Oszczędność vs cubic: 50–70%
- Wytrzymałość tylko dla naprężenia od góry — żadnej innej
- Czas cięcia +50%
- Czas druku -30% (znacznie mniej materiału)

25.3 Kiedy co

- **Lightning** — modele dekoracyjne, makietki, figurki, naczynia. Cokolwiek nie pod obciążeniem mechanicznym.
- **Adaptive cubic** — modele półfunkcyjne. Lepsze niż gyroid w czasie druku, słabsze w wytrzymałości.
- **Gyroid** — modele funkcyjne. Najlepszy stosunek wytrzymałości do wagi.

26. Vase mode advanced

Vase mode (Tryb wazy / Spiral vase) drukuje cały model jako jedną ciągłą spiralę, bez przerw między warstwami. Każda warstwa płynnie wznosi się o ułamek wysokości warstwy zamiast skoku co warstwę.

26.1 Co Vase mode dodaje

- **Brak szwu** — nie ma punktu start/koniec
- **Brak warstw** — powierzchnia gładza, jakby ciągła
- **Krótszy czas** — brak retrakcji, brak Z-hopów, jeden ciągły ruch
- **Mniej materiału** — tylko jedna ścianka, zero wypełnienia, zero top layer

26.2 Wymagania modelu

- Model musi być geometrycznie ZAMKNIĘTĄ KRZYWĄ na każdym poziomie Z (czyli przekrój każdą wysokością daje 1 zamknięty obrys)
- Bez wewnętrznych elementów (otwarcia w boku - OK; wewnętrzne struktury - NIE)
- Ostrożnie z ostrym narożnikami - mogą zostawić ślad startu wazy

26.3 Zaawansowane parametry

Parametr	Wartość	Komentarz
Tryb wazy	tak	Główny przełącznik
Wysokość warstwy	0,2–0,3 mm	Większa daje mocniejszy wzór
Szerokość ekstruzji	0,6–0,8 mm	DUŻO szerzej niż dysza! Pojedyncza ścianka musi być gruba
Bottom layers	3 (mimo że "vase")	Mocna podstawa
Prędkość	30–40 mm/s	Wolno dla jakości
Wentylator	100% od 2 warstwy	Maks. dla PLA

26.4 Vase + Variable layer height

Połączenie genialnych funkcji — vase mode z różną wysokością warstwy w różnych miejscach. Cienkie 0,1 mm tam gdzie są detale, grube 0,3 mm dla prostych prostych odcinków.

27. Print-in-place — mechanizmy drukowane razem

Druk składanego mechanizmu w jednym kawałku — zawiasy, łańcuchy, połączenia ruchome — wszystko w jednym wydruku, działające zaraz po wyjęciu z drukarki. Magia leżąca w precyzyjnych szczelinach.

27.1 Reguły projektowe

Element	Szczelina	Dlaczego
Zawias (oś-tuleja)	0,3 mm	Po druku ruszające się gładko
Łańcuch (ogniwo-ogniwo)	0,4 mm	Łańcuch musi się kołysać swobodnie
Pierścień na pierścieniu	0,3 mm	Z każdej strony

Element	Szczelina	Dlaczego
Tłok w cylindrze	0,2 mm	Lekki opór, działanie pneumatyczne
Zatrząsk click-fit	0,15 mm	Mocno, ale klika

27.2 Wymagania slicera

- Wyłącz brim (zlepi części razem) — chyba że zewnętrznie tylko
- Pozycja szwu: tylny lub malowany — szew wpadający w szczelinę zlepi części
- Cienkie ściany: tak — slicer nie pominie wąskich ścieżek
- Wykrywanie cienkich ścian: tak — kluczowe dla detali
- Generator obrysów: Arachne — bezdyskusyjnie

27.3 Po-druku obróbka

Świeży print-in-place ma drobny ślad między częściami (dymek z dyszy, nadlewki). Pierwsze poruszenie jest ZAWSZE odporne. Kombinacja:

- 1. Zostaw model 30 minut do całkowitego wystygnięcia
- 2. Wsadź pod kran ciepłej wody na 5 minut
- 3. Pierwszy ruch wykonaj w ciepłej wodzie — para usuwa nadlewki
- 4. Kolejne ruchy w powietrzu — opór znika

28. Embedded inserts — wbudowywanie elementów

Paузujesz wydruk w odpowiedniej warstwie, wkładasz nakrętkę / magnes / drut / inny element, kontynuujesz druk. Drukarka kontynuuje nakładanie warstw NA WIERZCH wbudowanego elementu, fizycznie go w kapsułkując.

28.1 Co możesz wbudować

Element	Trudność	Zastosowanie
Nakrętka M3/M4 (heat-set)	łatwe	Mocowania śrubowe
Magnes neodymowy 5 mm	łatwe	Pokrywk magnetyczne, stojaki
Drut stalowy (1 mm)	średnie	Wzmocnienia długich elementów
Łożysko 6804	trudne	Łożyska w drukowanych mechanizmach
LED + opór	trudne	Świejące figurki, lampy
NFC tag	łatwe	Zabawki interaktywne
Łańcuszek	trudne	Biżuteria

28.2 Procedura w PrusaSlicer

- 1. Wytnij model z odpowiednio zaprojektowaną kieszenią pod element.
- 2. W podglądzie cięcia ustaw suwak warstw na pierwszą warstwę PO kieszeni.
- 3. Prawym kliknięciem → "Dodaj zmianę koloru lub pauzę" → "Pauza".

- 4. Slicer wstawia M601 w odpowiedniej linii G-code.
- 5. W trakcie druku drukarka pauzuje. Wkładasz element. Wciskasz „Resume”.

28.3 Trzy zasady

- **Element musi mieć temperaturę pokojową** — gorący metal lub plastik magnesu zniekształci kolejne warstwy
- **Element musi być WSUWANY pod druk** — nie wrzucany. Każdy ruch może uszkodzić ostatnie warstwy
- **Pierwsza warstwa po pauzie** — uważnie. Przyleganie do elementu metalu jest słabsze niż do plastiku

29. Multi-color M600 — pro techniki

Pierwsza książka pokazała M600 podstawowo. Tu — pro techniki dla idealnych wielokolorowych wydruków.

29.1 Czyszczenie po M600

Po M600 pierwsze 30–60 sekund druku ma „brudny” kolor — resztki poprzedniego filamentu. Standard: drukarka robi małą strefę czyszczenia (purge tower / wipe tower). Pro:

- **Ręczne czyszczenie** — po M600 wciśnij dyszę żeby ekstrudowała filament wprost na ściereczkę, dopóki widzisz jednolity kolor.
- **Purge tower customizowany** — przez modyfikator, możesz dodać do projektu wieżę czyszczącą obok modelu, większą niż domyślna.
- **Strefa czyszczenia w niewidocznym miejscu modelu** — jeśli model ma wewnętrzną przestrzeń, slicer może tam czyścić — efekt bardziej elegancki niż wieża obok.

29.2 Zmiana wysokości

M600 wstawione w warstwie 0,2 mm pozwala kolorować model w fragmentach 0,2 mm. To często za grube dla precyzyjnych przejść. Trick — przed M600 zmniejsz wysokość warstwy do 0,1 mm na 1–2 warstwach.

Wstaw w "G-code przed zmianą warstwy":

```
{if layer_num == 25 or layer_num == 26}
; warstwy nakładkowe na granicy koloru – cienkie
{endif}
```

29.3 Trzy lub więcej kolorów

Praktyczna granica to 3 kolory. Każda zmiana to ~3 minuty operatora — przy 5 kolorach masz 12 pauz w czasie wydruku. Sensowne tylko dla prostych modeli z dużymi obszarami koloru (np. logotypy).

29.4 Color combine + paint-on

Najlepsza metoda kontroli kolorów to kombinacja: M600 dla zmian wysokości + paint-on color (PrusaSlicer od 2.7) dla zmian poziomych w obrębie tej samej warstwy. Razem dają niemal pełną swobodę.

CZĘŚĆ VI — G-code i automatyzacja

30. Conditional G-code — wyrażenia warunkowe

PrusaSlicer rozumie ograniczone JavaScript-podobne wyrażenia w polach G-code — można robić wartowniki, pętle, dostęp do zmiennych slicera. To otwiera drogę do dynamicznego G-code zależnego od projektu.

30.1 Składnia

- **Zmienne** w nawiasach kwadratowych: [layer_z], [first_layer_temperature]

- **Wyrażenia** w nawiasach klamrowych: {if layer_num > 5}...{endif}
- **Operatory:** ==, !=, <, >, and, or, not, +, -, *, /

30.2 Najważniejsze zmienne

Zmienna	Co zwraca
[layer_num]	Numer aktualnej warstwy (od 0)
[layer_z]	Wysokość Z aktualnej warstwy
[first_layer_temperature]	Temperatura dyszy pierwszej warstwy
[temperature]	Temperatura dyszy bieżąca
[bed_temperature]	Temperatura stołu
[input_filename_base]	Nazwa pliku bez rozszerzenia
[print_time]	Szacowany czas druku
[layer_count]	Łączna liczba warstw
[max_print_height]	Max wysokość drukarki
[printer_model]	Nazwa drukarki (COREONE)
[nozzle_diameter]	Średnica dyszy
[filament_type]	Typ filamentu (PLA/PETG/...)

30.3 Przykłady

Zmiana temperatury w trakcie wydruku (np. niższa po pierwszej warstwie):

```
{if layer_num == 1}
M104 S{first_layer_temperature[0] - 5} ; o 5°C niżej
{endif}
```

Zmiana wentylatora dla bardzo wysokich modeli:

```
{if layer_z > 100}
M106 S204 ; 80% wentylator dla wyższych warstw
{endif}
```

Komunikat na wyświetlaczu z postępem:

```
M117 [input_filename_base] - warstwa [layer_num]/[layer_count]
```

Pauza co 50 warstw (do oględzin):

```
{if (layer_num + 1) % 50 == 0 and layer_num > 0}
M601 ; pauza
M117 Oględziny - warstwa [layer_num]
{endif}
```

31. Custom macros — biblioteka gotowych

Zestaw makr, które warto wkleić do G-code startowy filamentu lub G-code przed/po zmianie warstwy. Każde makro odpowiada na konkretne zadanie.

31.1 Makro: piknięcie końca

G-code końcowy drukarki, dodaj przed M84:

```
M300 S440 P200 ; A4
M300 S554 P200 ; C#5
M300 S659 P200 ; E5
M300 S880 P400 ; A5 - finisz
```

31.2 Makro: powiadomienie tylko na koniec długiego druku

```
{if estimated_print_time > 14400}
M300 S440 P1000 ; długie pikanie tylko dla druków > 4h
{endif}
```

31.3 Makro: temperature ramping w trakcie druku

Stopniowe obniżanie temperatury z wysokością — dla bardzo wysokich modeli redukuje deformacje termicznych:

```
; G-code przed zmianą warstwy
{if layer_num > 50 and layer_num % 25 == 0}
M104 S{[temperature[0]] - 1} ; -1°C co 25 warstw
{endif}
```

31.4 Makro: czyszczenie dyszy przed precyzyjnym fragmentem

```
{if layer_num == 80}
G92 E0
G1 X10 Y10 Z[layer_z + 5] F1500
G1 E10 F300 ; ekstruzja czyszcząca
G1 X10 Y20 F1500 ; przesun przez ściereczkę
G92 E0
{endif}
```

31.5 Makro: M600 z parametrami

Paauza z konkretną pozycją parking i temperaturą:

```
M600 X10 Y10 Z+5 R210 U-2 L2
```

Gdzie: X/Y — pozycja parkowania, Z — relatywny ruch w górę, R — temperatura ciągłego trzymania, U — wysunięcie filamentu, L — załadowanie.

32. Post-processing — skrypty Python

PrusaSlicer może uruchomić zewnętrzny skrypt po zakończeniu generacji G-code. Skrypt dostaje na wejściu plik .gcode i może go zmodyfikować in-place. Konfiguracja: Ustawienia druku → Opcje wyjściowe → Skrypty post-processingu.

32.1 Przykład: dodawanie przerw co N minut

Skrypt Python szukający po G-code linii ";LAYER_CHANGE" i wstawiający M601 co tyle linii ile odpowiada np. 30 minutom druku:

```
import sys
with open(sys.argv[1], 'r') as f:
    lines = f.readlines()
output = []
layer_count = 0
for line in lines:
    output.append(line)
    if ';LAYER_CHANGE' in line:
        layer_count += 1
        if layer_count % 30 == 0:
            output.append('M601 ; pauza\n')
with open(sys.argv[1], 'w') as f:
    f.writelines(output)
```

Zapisz jako `pause_every_30_layers.py` i wskaż w PrusaSlicer ścieżkę.

32.2 Inne pomysły

- Dodaj M73 P[procent] co warstwę dla lepszego progress bar
- Wstaw M104 S0 ; po ostatniej warstwie żeby dysza ostygła wcześniej
- Eksportuj statystyki czasu druku do CSV
- Wstaw zdjęcie thumbnail dla OctoPrint

33. PrusaSlicer command-line

PrusaSlicer ma pełny interfejs CLI. Możesz wsadowo cięcia, automatyzować generację profili, integrować z own systemami CI/CD.

33.1 Podstawowe użycie

```
prusa-slicer --slice --load profile.ini model.stl --output model.gcode
```

33.2 Często używane flagi

Flaga	Co robi
<code>--slice</code>	Wykonaj cięcie
<code>--load <file.ini></code>	Załaduj plik konfiguracyjny
<code>--output <file.gcode></code>	Plik wyjściowy
<code>--export-stl</code>	Eksport modelu jako STL (po modyfikacjach)
<code>--info</code>	Pokaż info o modelu
<code>--repair</code>	Naprawi geometrię modelu
<code>--center <x,y></code>	Wyśrodkuj model
<code>--rotate <stopnie></code>	Obróć
<code>--scale <faktor></code>	Skaluj

33.3 Skryptowe automatyzacja batch

Bash skrypt do batch slicinga wszystkich plików STL w folderze:

```
for stl in *.stl; do
  prusa-slicer --slice \
    --load profil_PETG.ini \
    --output "${stl%.stl}.gcode" \
    "$stl"
done
```

CZĘŚĆ VII — Analiza i diagnostyka

34. Read the print — czytanie wydruku

Każdy wadliwy wydruk pozostawia ślady, które jednoznacznie wskazują przyczynę. Doświadczeni użytkownicy potrafią po jednym spojrzeniu na model wymienić ustawienie, które trzeba zmienić. To umiejętność czytania wydruków.

34.1 Co czytać

Element	Co mówi o ustawieniach
Pierwsza warstwa	Z-offset, prędkość pierwszej warstwy, czystość stołu, suchość filamentu
Górna powierzchnia	Top layers, wzór, prasowanie, wypełnienie
Krawędzie pionowe	Akceleracje, prędkość obrysów zewn., Linear Advance
Krawędzie poziome (warstwy)	Wysokość warstwy, kalibracja Z, flow ratio
Narożniki	Linear Advance K, prędkość, jerk
Podpory (po odłamaniu)	Odstęp Z, gęstość, materiał
Mostki	Prędkość mostków, wentylator, suchość filamentu
Zwisy	Próg, dynamiczna prędkość, wentylator, chłodzenie

34.2 Diagram analizy

Algorytm: zacznij od dołu modelu, pracuj w górę. Każdy widoczny defekt zapisz. Potem zsumuj wszystkie defekty i dopasuj do najczęstszej przyczyny — często jedno źle nastawiona zmienna powoduje 3–4 wizualne objawy.

35. Diagnostic patterns — atlas defektów

Wzór defektu	Wygląd	Przyczyna
Ringing (echo)	Powtarzające się fale po jednej stronie narożnika	Za wysokie przyspieszenie obrysów. Sprawdź Input Shaper. Zmniejsz akcelerację o 30%.
Z-banding	Poziome paski co X mm, regularne	Mechaniczny luz osi Z lub niejednorodne ekstrudowanie. Sprawdź śrubę Z.
Layer separation	Pęknięcie poziome między warstwami	Za niska temperatura dyszy. Wentylator za silny. Suchość filamentu.
Pillowing	Pęcherzyki/dziurki na top layer	Top layers za mało (3-4 zamiast 5+). Wzór nieoptymalny. Wypełnienie zbyt rzadkie.
Stringing	Cienkie pajęczyny między częściami	Retrakcja za niska. Temperatura za wysoka. Filament mokry.
Elephant foot	Rozszerzenie pierwszych warstw	Stół za gorący. Z-offset za niski. Brak kompensacji stopy słonia.
Warping	Rogi modelu unoszą się	Brak komory (PETG/ABS). Stół za zimny. Adhezja za słaba. Brakuje brimu.
Over-extrusion	Naddatek materiału, „rozpuchnięte” obrysy	Flow ratio > 1. Temperatura za wysoka. Filament zawilgocony (paradoksalnie).
Under-extrusion	Niedopełnienie, dziurki w warstwach	Flow ratio < 1. Temperatura za niska. Maksymalny przepływ przekroczony.

Wzór defektu	Wygląd	Przyczyna
Drooping overhangs	Zwisy „kapią” w dół	Wentylator za słaby. Prędkość zwisu nie skalibrowana. Próg podpór za wysoki.
Salmon skin	Drobne, równe poprzeczne paski na ścianach	Mechaniczny problem driver silników. Sprawdź TMC2209/2226 stallguard.
Surface bumps	Małe wybrzuszenia gdzie startuje obrys	Linear Advance K za niskie. Sprawdź szew.
Visible seam	Wyraźna pionowa linia łączenia obrysów	Pozycja szwu źle ustawiona. Wybierz Wyrównany lub Tylny lub Malowany.
Bridging fail	Obwisłe nici między dwoma podporami	Prędkość mostu zbyt wysoka. Wentylator zbyt słaby. Most zbyt długi.

36. Granice fizyki FDM

Niezależnie od optymalizacji slicera i jakości drukarki — FDM ma fizyczne granice. Znajomość ich oszczędza godziny prób uzyskania niemożliwego.

36.1 Czego FDM nie potrafi

Ograniczenie	Granica
Pojedynczy detal poziomy	Min. 0,4 mm (= średnica dyszy). Mniej = niewidoczne lub puste.
Tekst grawerowany	Min. wysokość 4 mm dla czytelnego tekstu. Mniejsze nieczytelne.
Otwór pionowy	Min. \varnothing 1,5 mm dla użytkowego (poniżej zrównuje się i wyrzusza).
Pasujące części	Tolerancja +/- 0,1 mm. Precyzyjniejsze = nie pasują (skurcz, ekspansja).
Nachylenie bez podpór	Max $\sim 55^\circ$ od pionu. Powyżej zwisanie.
Most	PLA: ~ 30 mm. PETG: ~ 20 mm. Powyżej obwiśnięcie.
Wytrzymałość Z	30-50% wytrzymałości X/Y. Modele obciążone wzdłuż Z są słabsze.
Powierzchnia z aboveb	Zawsze widoczne warstwy. Lustrzanej powierzchni nie da się uzyskać bez post-processingu.
Dokładność wymiaru	+/- 0,15 mm dla zewnętrznych. Otwory zawsze mniejsze o 0,1-0,3 mm.
Czas druku detal	Pełne lustro 0,07 mm zajmuje $\sim 20\times$ czas DRAFT. Niemożliwe do skrócenia.
Powtarzalność wymiaru	+/- 0,05 mm między wydrukami. Nie ma sensu walczyć o lepiej.

36.2 Kiedy zostawić FDM

Wymóg	Lepsza technologia	Dlaczego
Lustrzane powierzchnie	SLA / DLP	Wydruk warstwa po warstwie z żywicy daje gładką powierzchnię
Mikro-detale poniżej 0,1 mm	SLA / DLP	FDM minimalna ścieżka 0,4 mm
Tolerancja < 0,05 mm	CNC / SLS	Skurcz FDM wyklucza tę precyzję
Odporność termiczna > 150°C	SLS (Nylon) / CNC metal	FDM materiały do PEEK 250°C, ale PEEK trudny
Duża seria (100+ szt.)	Injection molding	FDM nie skaluje się ekonomicznie
Bardzo cienkie ścianki < 0,4	SLA / Polyjet	FDM ograniczone rozmiarem dyszy
Powierzchnia bez warstw	SLA + smooth-on / lakierowanie	FDM zawsze ma warstwy widoczne

36.3 Co FDM robi NAJLEPIEJ

- **Funkcjonalne prototypy** — szybko, tanio, w każdym materiale
- **Średnie rozmiary modeli** (50–250 mm) — sweet spot pomiędzy precyzją a kosztem
- **Modyfikowalne konstrukcje** — łatwo zmienić CAD i drukować nowy iteracje
- **Wytrzymałe końcowe części** — PA-CF lepszy niż wiele tworzyw injection-molded
- **Wbudowywanie elementów** — inserty, magnesy, druty bez specjalnych narzędzi

— koniec tomu III —

Razem trzy tomy: 56 + 26 + ~50 = ponad 130 stron przewodników dla CORE One HF0.4.