

# Współczesne wygładzarki pojemnikowe

dr hab. inż. Kazimierz Woźniak, mgr inż. Mariusz Wincenciak  
MARBAD Sp. z o.o. w Warszawie

Rozwój technologii obróbki powierzchni w wygładzarkach pojemnikowych z użyciem luźnych kształtek uzależniony jest zarówno od dostępności odpowiednich mediów, jak również odpowiednich urządzeń obróbkowych pozwalających w efektywny sposób realizować procesy obróbki różnorodnych detali. To w wygładzarkach pojemnikowych realizowany jest proces obróbki i dlatego od ich konstrukcji i funkcjonalności zależy w znacznym stopniu efekt procesu obróbki. To dzięki dostępności różnorodnych nowoczesnych wygładzarek pojemnikowych obróbka z zastosowaniem luźnych kształtek stała się powszechnie stosowaną metodą obróbki powierzchni.

Początki obróbki pojemnikowej sięgają połowy XIX wieku. Pierwszymi wygładzarkami pojemnikowymi były zwykłe beczki drewniane lub metalowe poddawane ruchowi obrotowemu, często przy użyciu rąk. Pierwszy patent angielski na „maszynę bębnową do oczyszczania i wykonywania podobnych operacji” pochodzi z 1857 roku. Na rys. 1 przedstawiono zdjęcie bębna polerskiego wyprodukowanego w 1877 roku przez firmę Langebein Pfanhauser Werke.

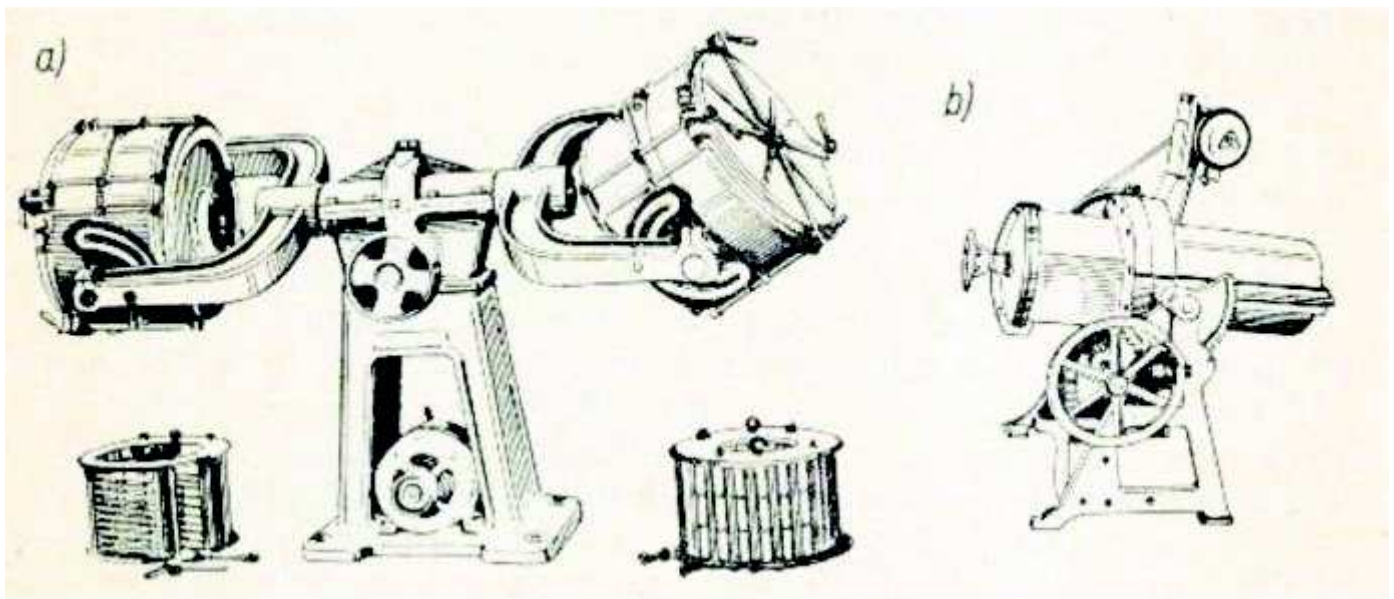


Rys. 1. Bęben polerski z roku 1877 [1]

Kolejne konstrukcje bębnowe polerskich były coraz bardziej dojrzałe. Przykładem takiej konstrukcji jest wygładzarka rotacyjna według niemieckiego opisu patentowego nr 230294 z 1910 roku. Konstrukcja wygładzarki zapewniała prawidłowe mieszanie obrabianych detali z materiałem ściernym i posiadała urządzenie przechylające pojemnik przy załadunku i wyładunku zawartości bębna. W okresie od 1897 roku do 1914 roku zgłoszono ponad 100 patentów na tego typu urządzenia. Były to zarówno zamknięte hermetycznie bębny, jak również odkryte kielichy [2].

Przełomowym okresem w rozwoju obróbki wygładzającej w pojemnikach były lata I wojny światowej, kiedy nastąpił skokowy wzrost zapotrzebowania na produkcję seryjną. Nastąpił tym samym wzrost zapotrzebowania na urządzenia do oczyszczania, usuwania zadziorów i zaokrąglania krawędzi przedmiotów metalowych. Urządzenia bębnowe z tego okresu przedstawiono na rys. 2. W urządzeniach tych odbywała się obróbka detali odpornych na uderzenia przy stosunkowo niewygórowanych wymaganiach odnośnie stopnia wygładzania ich powierzchni. Również obecnie stosowane są takie metody do obróbki detali odpornych na uderzenia i posiadających względnie proste kształty zbliżone do kuli. Jest to tzw. popularne bębnowanie.

W późniejszym okresie nastąpił bardzo dynamiczny rozwój konstrukcji wygładzarek spełniających wymogi obróbki różnorodnych, często technicznie bardzo wymagających



Rys. 2. Urządzenia bębnowe do obróbki luźnym ścierniwem: a) wygładzarka rotacyjna konsolowa dwupojemnikowa produkcji firmy Langbein Pfanhauser Werke z lat 1925–1930, b) wygładzarka rotacyjna bębnowa o regulowanym pochyleniu osi obrotu stosowana w latach 1930–1940 [2]

detali. Skokowy rozwój obróbki pojemnikowej nastąpił po wprowadzeniu do praktyki produkcyjnej wygładzarek wibracyjnych. Miało to miejsce w latach 1957–1962.

### Klasyfikacja wygładzarek pojemnikowych

Współczesne wygładzarki pojemnikowe można podzielić na kilka grup w zależności od stosowanego kryterium podziału. Najczęściej stosowanymi kryteriami podziału są [3-5]:

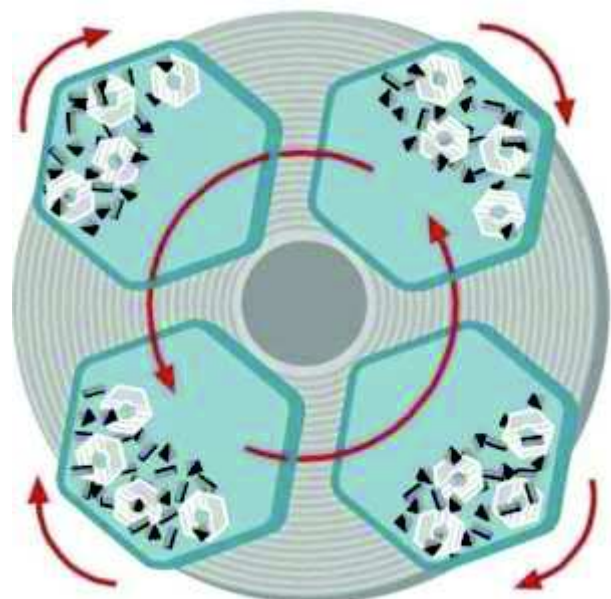
- rodzaj ruchu pojemnika roboczego wygładzarki,
- kształt pojemnika roboczego,
- wielkość przeciążenia wsadu roboczego w pojemniku wygładzarki,
- okresowy lub ciągły charakter pracy wygładzarki,
- sposób umieszczenia obrabianego detalu we wsadzie roboczym (swobodny czy na uwięzi).

W zależności od rodzaju ruchu pojemnika wygładzarki wyróżnić można grupę wygładzarek rotacyjnych i grupę wygładzarek wibracyjnych.

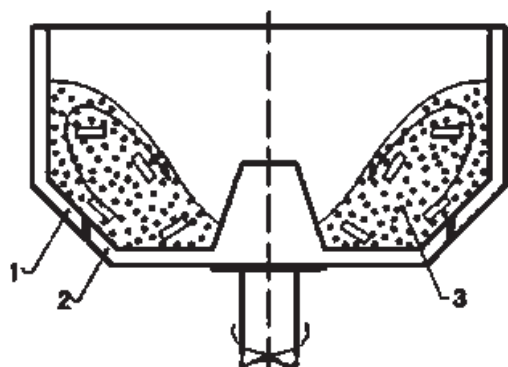
**Wygładzarki rotacyjne** to urządzenia w których pojemnik roboczy poddawany jest ruchowi obrotowemu, zaś w wygładzarkach wibracyjnych wibracji o określonej amplitudzie i częstotliwości. Obróbkę pojemnikową nazywa się też często obróbką rotowibracyjną. Do grupy wygładzarek rotacyjnych zaliczyć należy wygładzarki: kielichowe, bębnowe, planetarne, rotacyjno-kaskadowe i proskowe.

Wygładzarki kielichowe i bębnowe to znane od dawna powszechnie stosowane konstrukcje. Godną uwagi jest zasada działania wygładzarek bębnowych planetarnych. Ich działanie przypomina tzw. koło Ferrisa zwane diabelskim młynem (Rys. 3). Małe bębny zamontowane są na peryferiach dużego wirującego koła. Duże koło obraca się szybko, a małe bębny obracają się w kierunku przeciwnym niż duże koło. Wywołuje to duże przeciążenia we wsadzie roboczym.

Powszechnie stosowane są również wygładzarki rotacyjno-kaskadowe. Warto podkreślić, że pierwszym patentem na świecie zgłaszającym ten sposób obróbki był polski patent [6] zgłoszony w 1965 r. przez prof. Mieczysława Marciniaka z Politechniki Warszawskiej. Ideę pracy takich wygładzarek ilustruje rys. 4. Wirujący z regulowaną prędkością obrotową dolny talerz napędza wsad roboczy, który wznosi się do pewnej wysokości wewnętrznych ścianek nieruchomego bębna wygładzarki. Energia kinetyczna tego wsadu zostaje zamieniona na energię potencjalną, dzięki której wsad opada po tworzącej stożka wytworzonego przez wirujący wsad. To właśnie podczas tego opadania i wznoszenia wsadu, na skutek wzajemnego tarcie kształtek ściernych o detale następuje ich obróbka powierzchniowa.



Rys. 3. Schemat pracy wygładzarek planetarnych



Rys. 4. Schemat pracy wygładzarek rotacyjno-kaskadowych:  
1 – nieruchomy pojemnik roboczy, 2 – obrótowe dno pojemnika,  
3 – kształtki wraz z obrabianymi detalami

Na efekty obróbki w wygładzarkach rotacyjnych w zasadniczym stopniu wpływ ma średnica bębna i jego prędkość obrotowa, a w przypadku wygładzarek rotacyjno-kaskadowych również prędkość kątowna dolnego talerza obrotowego.

**Wygładzarki wibracyjne** to podstawowa grupa współczesnych wygładzarek pojemnikowych. Są one tak skonstruowane, aby w pojemniku wygładzarki zapewnić oprócz ruchu drgającego również ruch obrotowy wsadu roboczego. Ruch drgający jest zasadniczym ruchem obróbkowym, natomiast ruch obrotowy wsadu jest ruchem pomocniczym zapobiegającym separacji cięższych obrabianych detali od luźnych kształtek. Wskutek ruchu obrotowego zmienia się położenie detali we wsadzie. Zapewnia to ich równomierną obróbkę.

Pojemniki robocze są mocowane do ramy wygładzarki za pomocą sprężyn. Zawieszenie sprężyste umożliwia ruch roboczy pojemnika i izoluje ramę od drgań. Powierzchnia wewnętrzna pojemnika jest wyłożona tworzywem elastycznym (poliuretan, guma), które chroni ścianki pojemnika przed korozją, zapobiega kaleczeniu detali w wyniku uderzeń o metalową powierzchnię pojemnika, a przede wszystkim przekazuje energię drgań do wsadu roboczego. Układ wibracyjny jest źródłem wymuszających drgania. Najczęściej jest to urządzenie bezwładnościowe, ale również stosowane są napędy elektromagnetyczne.

Pracujący pojemnik wygładzarki charakteryzują następujące wielkości:

- amplituda drgań,
- trajektoria drgań pojemnika,
- częstotliwość drgań własnych,
- częstotliwość drgań wymuszonych.

Ruch wsadu roboczego jest podporządkowany ruchowi pojemnika wygładzarki. Konstrukcja układu bezwładnościowego wygładzarki jest odpowiedzialna za charakter sił oddziaływujących na pojemnik roboczy i kierunki ruchów składowych pojemnika. Ze względu na ilość kierunków ruchów składowych pojemnika wygładzarki wibracyjne podzielić można na dwa podstawowe typy:

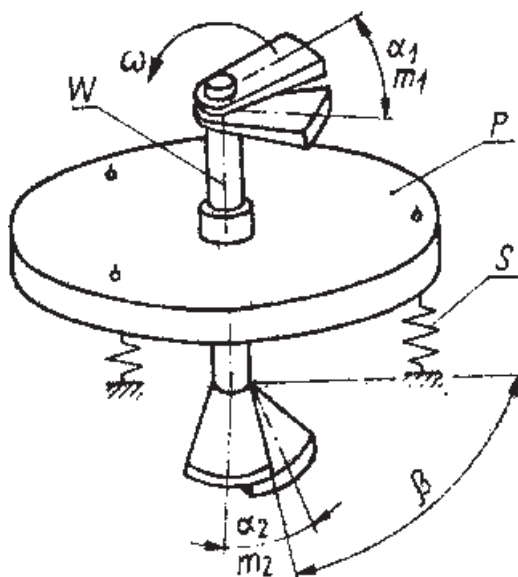
- wygładzarki o ruchu płaskim,
- wygładzarki o ruchu przestrzennym.

Wygładzarki o ruchu płaskim to przede wszystkim takie, w których pojemnik roboczy ma kształt koryta, a układ drgający jest w płaszczyźnie prostopadłej do osi podłużnej pojemnika. Źródłem drgań jest układ wibracyjny bezwładnościowy, umieszczony symetrycznie pod pojemnikiem. Zmianę amplitudy drgań pojemnika wygładzarki można osiągnąć poprzez:

- zmianę promienia niewyważenia,
- zmianę masy niewyważonej mimośrodowo.

Częstotliwość drgań pojemnika wygładzarki równa jest prędkości obrotowej wałka statycznie niewyważonego.

W początkowym okresie rozwoju konstrukcji wygładzarek wibracyjnych stosowane były rozwiązania z pojemnikiem o ruchu drgającym w płaszczyźnie. Późniejsze rozwiązania konstrukcyjne wprowadziły wygładzarki o pionowej osi układu wibracyjnego z pojemnikiem toroidalnym w kształcie litery U osiowo symetrycznym. W takiej wygładzarce wsad roboczy wykonuje ruch drgający i obrotowy, tak jak w wygładzarkach o ruchu płaskim, a oprócz tego przemieszcza się wokół osi pionowej wygładzarki. Ten ruch można określić jako ruch okrężny (obwodowy). Takie wygładzarki określane są wygładzarkami o ruchu okrężnym. Na rys. 5 pokazano schemat układu mechanicznego wygładzarki o drganiach przestrzennych. Na osi układu wibracyjnego znajdują się dwie pary mas niewyważonych  $m_1$  i  $m_2$ . Każdą parę mas można przestawić względem siebie, a również obie pary mas można przestawić względem siebie. Układ taki stwarza wiele możliwości regulacji drgań. Jeżeli masy  $m_1$  i  $m_2$  są ustawione pod jednakowym kątem  $\alpha$ , a kąt  $\beta$  jest równy zeru, to powstają dwie jednakowe siły wypadkowe działające w jednej płaszczyźnie. Trajektoria drgań leży w tym przypadku w poziomej płaszczyźnie pojemnika P i na wsad nie działają przyspieszenia pionowe. Jeżeli przy takim ustawieniu masy  $m_1$  i  $m_2$  zostaną przestawione o kąt  $\beta = 180^\circ$ , to siły



Rys. 5. Schemat układu mechanicznego wygładzarki wibracyjnej o drganiach przestrzennych: W – wał wygładzarki,  $m_1$  – masy niewyważone górne rozstawione pod kątem  $\alpha_1$ ,  $m_2$  – masy niewyważone dolne rozstawione pod kątem  $\alpha_2$ ,  $\beta$  – przesunięcie fazowe między masami  $m_1$  i  $m_2$ , P – płaszczyzna pojemnika roboczego podparta na sprężynach,  $\omega$  – prędkość kątowna

Tablica 1. Klasyfikacja wygładzarek pojemnikowych według przeciążenia wsadu roboczego [3]

Małe przeciążenie $Fr < 1$	Średnie przeciążenie $1 < Fr < 10$	Duże przeciążenie $Fr > 10$
Wygładzarka rotacyjno-kielichowa – mała pulsacja nacisków we wsadzie	Wygładzarka wibracyjna o drganiach przestrzennych – częstotliwość pulsacji nacisków we wsadzie wysoka	Wygładzarka rotacyjno-kaskadowa – częstotliwość pulsacji nacisków we wsadzie średnia
Wygładzarka rotacyjno-bębnowa – mała pulsacja nacisków we wsadzie	Wygładzarka wibracyjna o drganiach płaskich – częstotliwość pulsacji nacisków we wsadzie wysoka	Wygładzarka bębnowa planetarna – mała pulsacja nacisków we wsadzie
		Wygładzarka proskowa – brak pulsacji nacisków we wsadzie

wypadkowe będą stanowiły moment działający na płaszczyznę P i dążący do odchylenia jej od poziomu. Płaszczyzna P i prostopadła do niej oś będą wykonywały ruch precesyjny. Oś obrotu będzie zataczała stożek. W płaszczyźnie poziomej nie będzie ruchu lub będzie pomijalnie mały. Właściwa praca wygładzarki jest oparta na jednoczesnym występowaniu obu typów drgań – w płaszczyźnie i precesyjnego. Jeżeli kąt  $\beta$  będzie różny od  $0^\circ$  i  $180^\circ$ , to występują jednocześnie dwie składowe. Oba ruchy składowe, ustalone niezależnie, wpływają na skuteczność obróbki i prędkość krążenia wsadu w pojemniku. Zmniejszanie kąta  $\beta$  przyspiesza ruch okrężny wsadu. Pociąga to za sobą zmniejszenie ruchu precesyjnego i spadek pionowej amplitudy drgań.

Uwzględniając kształt pojemnika roboczego wygładzarki pojemnikowe podzielić można na:

- wygładzarki bębnowe o pionowej i poziomej osi obrotu,
- wygładzarki kielichowe,
- wygładzarki korytowe,
- wygładzarki w kształcie otwartego torusa (tzw. kołowe).

**Wielkość przeciążenia wsadu roboczego** w pojemniku wygładzarki jest praktycznym kryterium klasyfikacji wygładzarek pojemnikowych. Oparte jest ono na wielkościach przyspieszeń maksymalnych elementów wsadu roboczego mających wpływ na ich wzajemne naciski a tym samym na skutek obróbki uzyskiwany w wygładzarce. Klasyfikację taką oprzeć można na bezwymiarowej liczbie Frouda charakteryzującej przyspieszenie w ruchu wsadu roboczego do przyspieszenia ziemskiego  $Fr = a/g$  [3]. Wartość tych obciążeń jest bardzo zróżnicowana, szczególnie w grupie wygładzarek bębnowych. W wygładzarkach rotacyjno-bębnowych wielkość wzajemnych nacisków kształtek ściernych i obrabianych detali są limitowane wartością przyspieszenia ziemskiego i porównywalne z masą tych elementów. W wygładzarce rotacyjno-planetarnej wartości przyspieszenia w ruchu roboczym mogą wielokrotnie przekraczać wartość przyspieszenia ziemskiego i osiągnąć wartość  $a = 50 g$  [3]. W obydwu tych wygładzarkach, mających bardzo podobną charakterystykę jakościową ruchu wsadu, uzyskuje się bardzo zróżnicowane skutki obróbki.

W tabl. 1 zamieszczono klasyfikację podstawowych typów wygładzarek zbudowaną według kryterium przeciążenia charakteryzowanego liczbą Frouda  $Fr$ . Wygładzarki o najmniejszym przeciążeniu to wygładzarki bębnowe. Wygładzarki wibracyjne charakteryzowane są średnimi wartoś-

ciami przeciążeń, zaś największe przeciążenia występują w wygładzarce rotacyjno-kaskadowej, planetarnej i proskowej. Parametry pracy tych wygładzarek o najwyższych przeciążeniach są ograniczone wytrzymałością konstrukcji oraz trwałością stosowanych kształtek. Spośród wygładzarek o największych przeciążeniach wsadu roboczego największe zastosowanie znalazły wygładzarki rotacyjno-kaskadowe. Przeciążenie panujące we wsadzie ma wpływ oczywiście na czas trwania cyklu obróbkowego. Użytkownicy wygładzarek przy ich wyborze do procesu obróbki przyjmują zasadę 1:10:100; którą należy rozumieć, że 1 jednostka czasu obróbki w wygładzarce rotacyjno-kaskadowej odpowiada 10 jednostkom pracy w wygładzarce wibracyjnej i 100 jednostkom pracy w wygładzarce rotacyjnej bębnowej.

Powszechnie stosowane wygładzarki pojemnikowe to **urządzenia do pracy okresowej**. Wsad roboczy jest załadowywany do pojemnika roboczego wygładzarki, a detale poddawane są obróbce, a po jej zakończeniu wsad roboczy lub tylko obrobione detale są wyładowywane z pojemnika. Rozładunek wsadu roboczego lub samych detali następuje ręcznie bądź w wyniku mechanicznej separacji wewnętrznej (lub zewnętrznej) od kształtek, a kształtki są zawracane do pojemnika roboczego wygładzarki.

Dążenie do mechanizacji i automatyzacji procesów obróbki miało na celu zmniejszenie pracochłonności tych procesów. Idea ta została zrealizowana w **ciągłych procesach obróbki pojemnikowej**. Procesy ciągłe mają ekonomiczne uzasadnienie tylko wtedy gdy obrabiane detale ładowane są do pojemnika wygładzarki w sposób automatyczny lub przynajmniej zmechanizowany. Producenci wygładzarek oferują dwa rodzaje wygładzarek do pracy ciągłej; korytowe oraz owalne (spiralne) [7]. Liniowe korytowe urządzenie wibracyjne [8] jest długą rynną lub rurą w którym obrabiane detale z kształtkami przemieszczają się wzdłuż pojemnika wygładzarki. Kształtki i detale są rozdzielane po opuszczeniu koryta wygładzarki. Kształtki po separacji są zawracane z powrotem do początku koryta wygładzarki, gdzie również wprowadzane są detale przeznaczone do obróbki. Długość rynny wygładzarki zawiera się w przedziale od 3,5 do 7 m, a szerokość od 400 do 900 mm. Spiralne wygładzarki ciągłe posiadają wąskie kanały robocze o szerokości od 100 do 300 mm a ich długość wynosi od 9 do 25 m. Posiadają one wewnętrzny lub zewnętrzny system separacji. Wygładzarki do pracy ciągłej mają zastosowanie do krótkich procesów obróbki (do 15 min). Wygładzarki korytowe mogą obrabiać duże detale, zaś wygładzarki spiralne wielokanałowe (ang. *multi-pass round machines*) zalecane są do obróbki lekkich i delikatnych detali.

# 9-11.03.2016



**S**  
**T**  
**O**  
**M**

**TOOL**  
obrabiarki, narzędzia

**BLECH**  
obróbka blach

**LASER**  
lasery przemysłowe

Równolegle odbędą się:

**SPAWALNICTWO**

WirtoProcesy

Expo-Surface



545

firm

27

krajów

6 500

zwiedzających

Życzymy Państwu pełnych radości, ciepła i niepowtarzalnej, rodzinnej atmosfery Świąt Bożego Narodzenia, a także pomyślności i samych sukcesów w Nowym 2016 Roku

[www.targikielce.pl](http://www.targikielce.pl)

Pojemnikowa obróbka powierzchni, w odróżnieniu od innych sposobów wygładzającej obróbki powierzchniowej ma kinematykę swobodną. W obróbce tej zarówno obrabiane detale, jak i kształtki ściernie mają w czasie obróbki znaczną swobodę ruchu. To dominująca metoda tej obróbki. Istnieje jednak wiele detali które są wrażliwe na wzajemne zderzenia w czasie procesu obróbki, które mogą prowadzić do niedopuszczalnego uszkodzenia ich powierzchni. Takie detale muszą być w czasie obróbki separowane od siebie. Procesy takie są realizowane w wygładzarkach w których detale mocowane są w specjalnych uchwytach. Są to wygładzarki określane często jako wygładzarki proszkowe (ze względu na uziarnienie medium obróbkowego) lub wygładzarki do obróbki detali w uchwytach (ang. *drag finishing machines*).



Rys. 7. Wychylne wygładzarki rotacyjne różnej wielkości [9]

### Przegląd współczesnych wygładzarek pojemnikowych

Klasyczne **wygładzarki bębnowe** (ang. *Tumbling Barrels*), które przez długie lata były podstawowymi urządzeniami do obróbki luźnymi kształtkami mają we współczesnej obróbce ograniczone zastosowanie (Rys. 6). Spowodowane jest to głównie brakiem możliwości mechanizacji procesów załadunku i rozładunku wsadu roboczego. Brak jest też możliwości wewnętrznej ciągłej separacji wsadu roboczego od obrobionych detali. Kolejne ograniczenie to brak możliwości bieżącej kontroli przebiegu procesu obróbki oraz długie czasy obróbki. W obróbce bębnowej brak jest możliwości dobrego kontaktu kształtek z wewnętrznymi powierzchniami i wnękami obrabianych detali. Nie są to więc odpowiednie wygładzarki do obróbki detali o skomplikowanych kształtach. Spośród powszechnie stosowanych wygładzarek bębnowych wymienić należy wygładzarki stosowane do obróbki biżuterii i drobnych detali mechaniki precyzyjnej oraz do obróbki detali z tworzyw sztucznych. Takie bębny pojemności od 2 do 200 litrów zbudowane są z drewna (do pracy na sucho), a z tworzyw sztucznych lub stali do pracy na mokro. Układ napędowy umożliwia regulację obrotów które zawierają się najczęściej w przedziale 20 do 60 obr./min.

**Wychylne wygładzarki rotacyjne** (*Tiltable Barrel Machines*) zwane też wygładzarkami kielichowymi to urządzenia

powszechnie stosowane do obróbki guzików, ale też różnorodnych detali metalowych. Na rys. 7 przedstawiono przykłady różnej wielkości wygładzarek rotacyjnych wychylnych. Urządzenia posiadają możliwość płynnej regulacji obrotów od 0 do 45 obr./min. Możliwa jest też płynna regulacja kąta pochylenia zbiornika od położenia podczas rozładunku do położenia roboczego. Zbiorniki robocze posiadają objętość od 110 litrów do 550 litrów. Konstrukcja wygładzarki umożliwia ciągłe doprowadzanie płynów obróbkowych oraz odprowadzania ścieków poobróbkowych. Wygładzarka umożliwia również obróbkę małych, długich i wąskich oraz delikatnych detali. Możliwa jest też obróbka ruchomych łączonych elementów, np. łańcuchów.

**Wygładzarki bębnowe planetarne** (ang. *Centrifugal Tumblers*) są urządzeniami do specjalnych obróbek. Są one przy tym dosyć uniwersalne bo pozwalają uzyskać w krótkim czasie gładką powierzchnię, a jednocześnie usunąć duże naddatki. Poprawiają też wytrzymałość zmęczeniową detali. Są one zalecane szczególnie do obróbki detali płaskich z blachy stalowej (również obrabianej cieplnie) o grubości powyżej 0,1 mm i masie do 30 g. Procesy obróbki trwają najczęściej od kilku do 15 minut, podczas gdy te same obróbki w wygładzarkach wibracyjnych trwają kilka godzin. W specjalnych zastosowaniach procesy mogą trwać także kilka godzin. Dotyczy to wygładzania detali o skomplikowanych i trudno



Rys. 6. Wygładzarka bębnowa [9]



Rys. 8. Wygładzarka bębnowa planetarna [9]



Rys. 9. Wygładzarki rotacyjno-kaskadowe wraz z sitem separacyjnym i transporterem kształtek [9]

dostępnych powierzchniach, gdzie przy stosunkowo małych obrotach pojemników, wsad polersko-szlifierski penetruje każdy zakamarek obrabianych detali. Taki typ obróbki stosowany jest np. w przypadku dogładzania stalowych kopert zegarków ręcznych.

W większości wygładzarek planetarnych duże koło obraca się pionowo. Dostępne są również mniej popularne modele z poziomo obracającym się dużym kołem. W nowszych rozwiązaniach wygładzarek planetarnych dodano także ruch wychylny głównego koła, dzięki któremu zmienia się położenie wsadu w małych pojemnikach i zmienia ulega rozkład nacisku sił działających na obrabiane detale. Na rys. 8 zamieszczono przykład wygładzarki planetarnej z pionowo obracającym się dużym kołem.

**Wygładzarki rotacyjno-kaskadowe** (ang. *Centrifugal Disc Machines*) to bardzo popularne wygładzarki stosowane powszechnie do obróbki różnorodnych, najczęściej mniejszych detali. Konstrukcja wygładzarek umożliwia mechanizację oraz pełną automatyzację załadunku i rozładunku oraz separacji wsadu roboczego i obrobionych detali. Na rys. 9 zamieszczono przykład instalacji zawierającej wygładzarkę rotacyjno-kaskadową oraz sito separacyjne do rozdzielania kształtek i obrobionych detali. Układ transportowy umożliwia ponowne dostarczenie kształtek do pojemnika wygładzarki po ich oddzieleniu od obrobionych detali. Mechanizacja procesów załadunku i rozładunku jest szczególnie istotna w przypadku wygładzarek o dużej pojemności pojemnika roboczego. Charakterystykę stosowanych najczęściej wygładzarek rotacyjno-kaskadowych zamieszczono w tabl. 2. Objętość pojemnika roboczego zawiera się zatem w przedziale od 20 do 450 litrów.

Wygładzarki posiadają pneumatyczny system pochylania pojemnika roboczego. Istnieje możliwość płynnej regulacji prędkości obrotowej talerza dolnego. Bardzo ważnym szczegółem konstrukcyjnym jest szczelina pomiędzy wirującym talerzem, a nieruchomym pojemnikiem roboczym. Jest ona formowana pierścieniami z poliuretanu, stali nierdzewnej lub ceramiki.

Tablica 2. Charakterystyka wygładzarek rotacyjno-kaskadowych [9]

Typ wygładzarki	Objętość pojemnika roboczego l	Prędkość obrotowa talerza obr./min.	Moc silnika wygładzarki kW	Masa wygładzarki kg
TURBO – 20	20	0–400	1,5	170
TURBO – 50	50	0–300	3,0	325
TURBO – 60	60	0–300	3,0	470
TURBO – 120	120	0–180	4,0	680
TURBO – 200	200	0–180	7,5	1300
TURBO – 450	450	0–150	18,5	2200

To najmniej trwałe elementy wygładzarki, który jest wymieniany na nowy po określonym czasie pracy wygładzarki.

W praktyce zastosowanie znalazły też tzw. systemy tandemowe składające się z kilku (2–3 szt.) wygładzarek rotacyjno-kaskadowych (Rys. 10). Takie systemy zapewniają w jednym



Rys. 10. Układ trzech wygładzarek rotacyjno-kaskadowych [9]

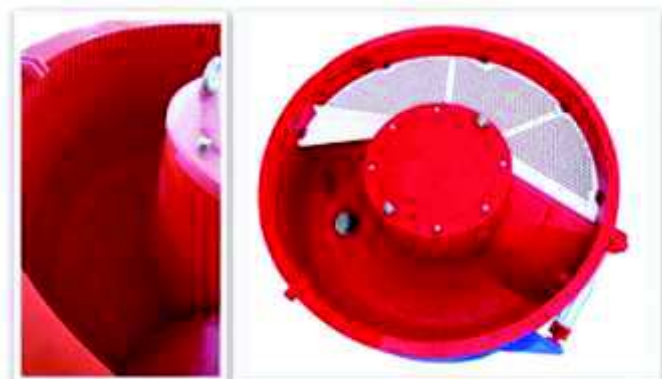
węźle obróbkowym dostępność różnorodnych wsadów roboczych, a tym samym przeprowadzenie wszystkich etapów obróbki tych samych detali.

**Wygładzarki wibracyjne** (ang. *Vibratory Finishing Machines*) to najczęściej stosowane wygładzarki pojemnikowe. Można oszacować, że przy ich zastosowaniu przeprowadzane jest

około 90% wszystkich pojemnikowych obróbek powierzchni. Ta popularność jest spowodowana przede wszystkim łatwością ich automatyzacji. Najbardziej popularne są wygładzarki wibracyjne kołowe. Wśród nich można wyróżnić wygładzarki wibracyjne z płaskim dnem oraz wygładzarki ze wznoszącym dnem pojemnika roboczego. Każda z tych wygładzarek może być bez sita separacyjnego i z sitem separacyjnym. Rodzaj pojemnika roboczego, a w zasadzie kształt jego dna zależy jest od zastosowanego systemu wyładowczego detali po obróbce. Jeżeli wygładzarka nie jest wyposażona w sito separacyjne to pojemnik roboczy jest płaskodenny o przekroju w kształcie litery U lub o przekroju torusa (Rys. 11). Ten typ wygładzarki jest stosowany najczęściej do obróbki delikatnych detali, gdzie minimalizowane są zderzenia i obicia detali podczas separacji. Stosowane są one też do procesów obróbki, w których oczekuje się uzyskania jak najgładszej powierzchni detali przeznaczonych do galwanizacji lub anodowania. Urządzenia tego typu wykorzystywane są do obróbki klamek, okuć meblowych a także do tzw. obróbek izotropowych, gdzie za pomocą jednego typu kształtek i zastosowania dwuetapowego wspomaganie chemicznego, prowadzimy w jednej wygładzarce obróbkę wstępną i wykańczającą. Wygładzarki z dnem płaskim mogą być też wyposażone w sito separacyjne (Rys. 12). Niezbędna jest wówczas dłuższa przegroda separacyjna, gdyż większa jest odległość z poziomu sita do dna wygładzarki niż ma to miejsce w wygładzarce wibracyjnej z dnem wznoszącym się (Rys. 13). Wygładzarki z dnem wznoszącym posiadają w dnie pojemnika roboczego próg, który skraca długość przegrody separacyjnej. Przyczynia się to do poprawy skuteczności separacji obrobionych detali od kształtek. Obecność progu w dnie pojemnika roboczego powoduje, że w takich wygładzarkach nie powinno się obrabiać detali wrażliwych na wzajemne uderzenia. Otwieranie i zamykanie przegrody separacyjnej odbywa się ręcznie lub przy użyciu siłownika pneumatycznego. Wewnętrzne sito separacyjne ogranicza znacznie przestrzeń roboczą pojemnika. Zwężona jest też przestrzeń pomiędzy sitem i dnem pojemnika, co jest szczególnie widoczne przy obecności progu w wygładzarkach z dnem wznoszącym. W takich wygładzarkach nie można obrabiać dużych, przestrzennych oraz długich detali, bo blokują się one pod sitem separacyjnym.



Rys. 11. Wygładzarka wibracyjna kołowa z dnem płaskim bez sita separacyjnego [9]



Work Bowl Details

Rys. 12. Wygładzarka wibracyjna kołowa z dnem płaskim i sitem separacyjnym [9]





Rys. 13. Przegroda separacyjna w wygładzarkach wibracyjnych kołowych z dnem płaskim (a) i dnem wznoszącym (b)

Podstawowe zalety wygładzarek z płaskim dnem to szybka, intensywna obróbka, wadą jest wydłużony proces separacji detali od kształtek. W przypadku urządzeń z tzw. progim (rampą), czas separacji jest szybki i dzięki temu urządzenia te preferowane są do szybkich procesów obróbczych 15–30 min dla takich detali jak odkuwki, detale po tłoczeniu, cięciu itp.

Wygładzarki kołowe z sitem separacyjnym oferowane są w dość ograniczonym zakresie wymiarowym. Dotyczy to szczególnie wygładzarek z dnem płaskim. Oferowane są wygładzarki o objętości pojemnika roboczego 240, 400, 750 i 1000 litrów, przy czym rzeczywista objętość robocza stanowi około 80% objętości nominalnej. Nieco bogatsza jest oferta wygładzarek z dnem wznoszącym. Oferowane objętości pojemnika to najczęściej: 130, 230, 385, 550, 835 i 1750 litrów.

Wygładzarki kołowe z płaskim dnem bez sita separacyjnego oferowane są od najmniejszych o pojemności 15 litrów do największych 3000 litrów (Tabl. 3). W tego typu wygładzarkach cały pojemnik może być wykorzystany jako przestrzeń robocza, a tym samym jednorazowo obróbce może być poddawana większa ilość detali niż w wygładzarkach o podobnej objętości nominalnej, ale z sitem separacyjnym. Odbywa się to jednak kosztem ręcznego wybierania detali po obróbce z pojemnika wygładzarki.

Tablica 3. Charakterystyka wygładzarek wibracyjnych kołowych z płaskim dnem bez sita separacyjnego [9]

Typ	Objętość pojemnika roboczego l	Moc silnika kW	Masa wygładzarki kg
EVP 15	15	0,17	40
EVP 30	30	0,55	120
EVP 110	120	1,1	260
EVP 250	250	1,5	410
EVP 400	400	3	620
EVP 550	585	4	1000
EVP 800	830	5,5	1270
EVP 1100	1100	5,5	1450
EVP 1500	1500	11	2300
EVP 2200	2200	15	3200
EVP 3000	3000	15	3560

Wygładzarki wibracyjne korytowe obecnie można określić urządzeniami do specjalnych zastosowań. Wśród tych specjalnych zastosowań należy wyróżnić obróbkę długich detali, obróbkę detali wrażliwych na wzajemne zderzenia oraz obróbkę naciskową przy użyciu mediów stalowych.

Wymiary pojemnika wygładzarki korytowej (Tabl. 4) wskazują, że możliwa jest obróbka długich detali. Nie jest jednak możliwa tam mechaniczna separacja detali po obróbce. Wygładzarki o dużej pojemności pojemnika roboczego (powyżej 1000 l) zasilane są dwoma silnikami elektrycznymi zlokalizowanymi po obydwu stronach pojemnika. Zamieszczone w tabl. 4 przykłady wygładzarek korytowych można określić jako wygładzarki standardowe. Do specjalnych obróbek bardzo dużych detali (np. ramy skrzydeł lotniczych czy elementy silników odrzutowych) budowane są jeszcze większe pojemniki mogące pomieścić do 11 ton kształtek żywicznych [10].

Do obróbki detali, które w czasie obróbki nie powinny się z sobą stykać stosować należy wygładzarki korytowe z przegrodami (Rys. 13b). Są to najczęściej detale duże, często

Tablica 4. Charakterystyka korytowych wygładzarek wibracyjnych [9]

Typ	Rozmiary pojemnika roboczego mm			Objętość pojemnika l	Moc silnika napędowego kW	Masa wygładzarki kg
	długość	szerokość	głębokość			
EVT – 20	500	200	240	20	0,65	90
EVT – 80	850	300	350	88	0,8	105
EVT – 130	960	345	400	130	1,1	330
EVT – 320	1250	500	560	320	2,2	770
EVT – 400	2000	400	500	400	5,5	1200
EVT – 500	1525	610	610	500	5,5	1320
EVT – 600	1925	590	585	600	6,0	1350
EVT – 800	1500	750	850	840	6,0	1600
EVT – 1000	1830	760	810	1000	2 × 5,5	2650
EVT – 2200	2200	1110	985	2200	2 × 11	4050
EVT – 3200	2120	1270	1320	3200	2 × 15	6500



Rys. 13b. Wygładzarki korytowe z przegrodami w pojemniku roboczym [9]

o skomplikowanych kształtach, narażone na uszkodzenia podczas wzajemnych zderzeń.

Specjalną obróbką detali jest obróbka przy użyciu wsadów stalowych, czyli tzw. obróbka naciskowa. Jest to najczęściej ostatni etap obróbki powierzchni, w którym obrabiane detale uzyskują bardzo gładką powierzchnię łącznie z jej wybliszczaniem [11]. Jest to obróbka przeprowadzana przy wysokiej częstotliwości drgań pojemnika wygładzarki. Specjalne dwa silniki zamocowane z dwóch stron pojemnika charakteryzują się prędkością obrotową 3000 obr./min. Ze względu na wysokie gęstości wsadów stalowych konstrukcja wygładzarki powinna być dostosowana do przenoszenia dużych obciążeń (Rys. 14).

Zewnętrzne sito separacyjne pozwala oddzielić obrabiane detale od ciężkiego wsadu stalowego, a specjalne urządzenie

skipowe pozwala zawrócić wsad stalowy do pojemnika roboczego. Ze względu na wysokie gęstości kształtek stalowych ograniczona jest objętość pojemników takich wygładzarek. Są to najczęściej pojemniki o objętości 80, 130, 300 i 700 litrów.

Ciągłe procesy obróbki pojemnikowej dużych detali realizowane są w pełni zautomatyzowanych instalacjach w których długie koryto napędzane jest silnikiem o mocy do 40 kW (Rys. 15). Silnik (lub silniki) napędzają umieszczony na wspólnej osi kilka zestawów mas niewyważonych wprawiających długie koryto w drgania o regulowanej amplitudzie i częstotliwości.

Na zakres wymiarowy wygładzarek liniowych do pracy ciągłej wskazują dane zawarte w tabl. 5. Jest to dobra ilustracja oferowanych współcześnie tego typu wygładzarek.



Rys. 14. Wygładzarki korytowe do polerowania naciskowego przy użyciu wsadów stalowych bez sita separacyjnego i z zewnętrznym sitem separacyjnym [9]

Do bardzo dużych detali stosowane są również znacznie większe wygładzarki w których koryto ma szerokość 1 m, a długość do 7 m.

Automatyczne podawanie detali do obróbki oraz odbiór po obróbce powodują, że jest to w zasadzie obróbka bezobsługowa. Czas przebywania detali w pojemniku wygładzarki zawiera się w przedziale od 5 do 30 minut, co odpowiada krótkim procesom obróbki. Są to najczęściej obróbki zgrubne. Potrzeba realizowania dłuższych procesów, szczególnie mniejszych i delikatnych detali realizowana jest w wygładzarkach owalnych o spiralnym kształcie pojemnika roboczego. Przestrzeń pojemnika roboczego została po-



Rys. 15. Wygładzarka wibracyjna korytowa liniowa do pracy ciągłej [9]

dzielona kanałami roboczymi o szerokości od 10 do 35 cm. Kanał roboczy rozpoczyna się od centralnego słupa i otacza go spiralnie aż do zewnętrznej ścianki pojemnika roboczego lub przebiega śrubowo po obwodzie od dołu ku górze jak to przedstawiono na rys. 16. W zależności od średnicy pojemnika oraz szerokości kanału roboczego, jego sumaryczna długość może zawierać się w przedziale od 9 do

Istnieje kilka podstawowych typów wygładzarek, których detale mocowane są w uchwytach. Detale nie mają zatem możliwości stykania się z sobą, a tym samym nie ma niebezpieczeństwa uszkodzeń ich powierzchni w wyniku wzajemnego zderzenia się. Obróbka ręczna wielu takich detali wrażliwych na wzajemne zderzenia jest zbyt droga



Rys. 16. Wygładzarka wibracyjna spiralna do pracy ciągłej firmy Spaleck [9]

lub często niemożliwa. W takich przypadkach obróbka pojemnikowa z detalami w uchwytach jest najbardziej odpowiednia. Do takich detali zaliczyć można m.in.: implanty ortopedyczne (takie jak stawy kolanowe i biodrowe), turbiny gazowe, koła zębate i przekładnie, uchwyty narzędziowe, frezy trzpieniowe, części silników, takie jak tłoki, zawory, korbowody.

Tablica 5. Charakterystyka wygładzarek liniowych korytowych do pracy ciągłej oferowanych przez firmę Richwood [9]

Typ	Objętość pojemnika roboczego l	Szerokość koryta cm	Długość koryta cm	Silnik główny kW
VAT – 11	220	30	300	5,5
VAT – 16	315	45	245	11
VAT – 26	510	45	365	18
VAT – 35	690	49	400	25
VAT – 44	860	61	400	30

25 m. Przedstawiona na rys. 16 wygładzarka posiada wewnętrzny system separacji, chociaż istnieją też rozwiązania z zewnętrznym systemem separacji. Wygładzarki spiralne pracują przy niewielkich amplitudach drgań pojemnika roboczego, bo realizowane są w nich mało agresywne procesy obróbki. Przyjmuje się, że przeciętna prędkość przesuwania się wsadu roboczego w kanał roboczym wynosi około 1 min/m. Maksymalny czas obróbki wynosi zatem 25 minut. Niektóre konstrukcje wygładzarek spiralnych wielokanałowych (*multi-pass round machines*) umożliwiają realizację długich cykli obróbki nawet do 2 godzin.



Rys. 17. Wygładzarka do obróbki detali w uchwytach [9]

Istnieją różne rozwiązania konstrukcyjne wygładzarek zarówno jeżeli chodzi o uchwyty obrabianych detali jak i pojemnika wygładzarki. Detale w uchwytach mogą być poddawane ruchowi obrotowemu o regulowanej prędkości obrotowej i być pod różnym kątem wprowadzane do wsadu



Rys. 18. Wygładzarka wibracyjna do polerowania felg samochodowych

roboczego. Z kolei wsad roboczy może być poddawany ruchowi obrotowemu, jak ma to miejsce w wygładzarkach rotacyjno-kaskadowych lub ruchowi wibracyjnemu jak w wygładzarkach wibracyjnych. Mogą być też wykonywane ruchy pionowe uchwytów z detalami. Na rys. 17 zamieszczono zdjęcie wygładzarki zawierającej 4 uchwyty. Ilość uchwytów może być różna i jest zależna od rodzaju obrabianych detali jak i wielkości pojemnika roboczego.

Do grupy wygładzarek z uchwytami zaliczyć też można specjalne wygładzarki do obróbki pojemnikowej felg samochodowych (Rys. 18). Wibracyjna metoda polerowania i regeneracji aluminiowych felg samochodowych zdobywa

coraz większą popularność. Dotyczy to również sytuacji w Polsce. Felga jest zamocowana centralnie w wibrującym pojemniku wygładzarki. Proces obróbki jest najczęściej kilkietapowy, najpierw przy użyciu kształtek żywicznych małych rozmiarów, a wykańczająco przy użyciu kształtek porcelanowych. Są to długie procesy obróbki trwające od kilku do kilkunastu godzin.

### Podsumowanie

Obróbka pojemnikowa to metoda obróbki powierzchni różnorodnych detali która ma do dyspozycji nowoczesne wygładzarki. Uwzględniając również fakt, że dostępne są też liczne i nowoczesne media jako narzędzia obróbkowe obróbkę pojemnikową czeka bardzo dynamiczny rozwój. Rozwój ten dotyczy również Polski gdyż w przemyśle polskim każdego roku instalowanych jest bardzo dużo nowych wygładzarek pojemnikowych. Główną pozycję zajmują tutaj wygładzarki wibracyjne. Rozwój tej metody obróbki powierzchni ma swoje uzasadnienie ekonomiczne. Przewidywalność jakości powierzchni detali i powtarzalność jej charakterystyki po obróbce pojemnikowej to podstawowe walory tej perspektywicznej metody obróbki powierzchni.

### Literatura

1. Materiały techniczne firmy Langbein Pfanhauser Werke.
2. Rodziewicz M.: *Wygładzanie luźnym ścierniwem w pojemnikach*. WNT, Warszawa 1964.
3. Marciniak M., Stefko A., Szyrle W.: *Podstawy obróbki w wygładzarkach pojemnikowych*. WNT, Warszawa 1983.
4. Hinz H.E.: *Gleitschliftechnik*. Verlag 1988.
5. Gillespie L.K.: *Mass finishing handbook*. Industrial Press Inc., New York 2007.
6. Marciniak M.: *Wygładzarka rotacyjno-kaskadowa do obróbki przedmiotów luźnym ziarnem ściernym*. Patent Polski nr 52129 (zgłoszony 10.11.1965).
7. Materiały techniczne firm: Marbad, Roesler. Walter Trowal.
8. Szyrle W.; *Charakterystyka pracy wygładzarek i urządzeń pomocniczych oraz zasady doboru kształtek i rozтворów wspomagających*. Przegląd Mechaniczny, 1988, nr 21, s. 15-19.
9. Materiały techniczne firm: Avalon, Erba, Vilma Mass Finishing, Otec, Spaleck.
10. Marcus S.: *Mass Finishing: What it is All About. Products Finishing*, 2011, nr 2.
11. Woźniak K.: *Kształtki metalowe jako narzędzia robocze w wygładzarkach pojemnikowych*. *Obróbka Metalu* 2014, nr 3, s. 54-60.

**Autorzy dziękują firmie ERBA za udostępnienie materiałów informacyjnych i zdjęć swoich wygładzarek pojemnikowych.** ■