

NARZĘDZIA STEROWANE

Narzędzia mechatroniczne, zwane też często nieco na wyrost „inteligentnymi”, to takie narzędzia, które dzięki odpowiednim układom pomiarowo-analitycznym, sprzężeniu z układem sterowania własnym lub obrabiarki CNC, z odrębnymi napędami i możliwością sterowania i przesuwu częścią roboczą, stwarzają większe możliwości kształtowania powierzchni na obrabiarkach niż narzędzia klasyczne.

Obecnie coraz częściej do realizowania dodatkowych ruchów roboczych narzędzia, stosuje się mechanizmy z napędem mechanicznym (trzcienie, ciągną, wrzeciona, płozy ślizgowe, zderzaki), mechaniczno-elektrycznym, hydraulicznym wykorzystującym np. ciśnienie chłodziwa.

Wykorzystuje się do tego celu także działanie sił odśrodkowych, napędzających mechanizmy zębate bądź przemieszczające tłoki służące do sprężania medium oddziałującego na elementy przesuwające suwaki z zamocowanymi na nich ostrzami skrawającym.

Narzędzia sterowane

Dokładność obróbki zależy od bardzo wielu czynników, nie tylko od narzędzia, ale też np. od: stanu technicznego obrabiarki, oprzyrządowania, sposobu mocowania przedmiotu, jego sztywności.

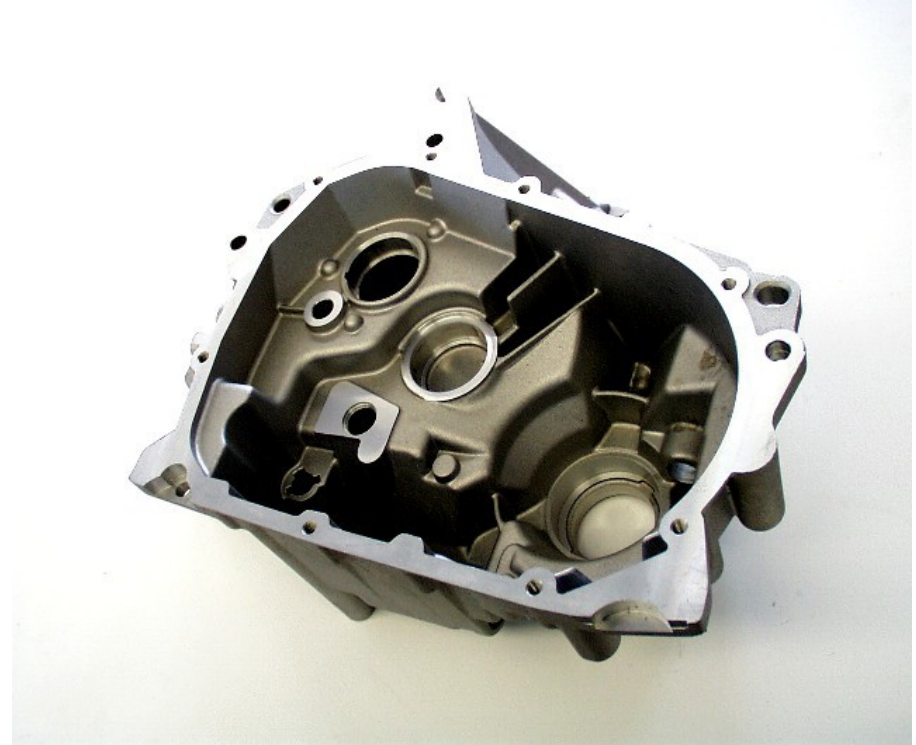
Narzędzia mechatroniczne w wielu przypadkach pozwalają nie tylko rozszerzyć możliwości obróbkowe obrabiarek, ale także zwiększyć dokładność obróbki.

Na ogół pozwalają kształtować wyroby, co najmniej z dokładnością w klasie IT7.

Narzędzia sterowane

Ogólnie sterowane odnosi się często nie do samych narzędzi skrajających np. noży tokarskich, wytaczadeł, wiertel, rozwiertaków, lecz do oprawek, głowic lub urządzeń oprzyrządowania technologicznego, w których te narzędzia lub same ostrza są jedynie mocowane.

Jednak określenie to, rozumiane w tym szerszym kontekście, jest przyjęte w literaturze światowej. Do narzędzi mechatronicznych nie które firmy, np. D`Andrea, Mapal, Komet, zaliczają także rozbudowane wytaczarskie głowice mechatroniczne, które mogą występować, jako swego rodzaju przystawki, poszerzające możliwości kształtowania obrabiarek, na których są instalowane, ale także stanowiące swego rodzaju jednostki obróbkowe z własnymi silnikami napędów głównych, z których mogą być zestawiane obrabiarki zadaniowe stosowane, np. w transferowych liniach produkcyjnych.



Przykłady części maszyn branży przemysłu motoryzacyjnego kształtowanych narzędziami sterowanymi i mechatronicznymi (wg Mapal)

Pod pojęciem **narzędzia sterowane** rozumie się zazwyczaj takie systemy narzędziowe, które realizują proste lub złożone ruchy ostrzy skrawających bez dodatkowego wyposażenia o charakterze elektrotechnicznym czy też mechatronicznym.

W wielu przypadkach narzędzia te znacznie rozszerzają możliwości kinematycznego kształtowania powierzchni przedmiotów na obrabiarkach, które mają ograniczone możliwości w tym zakresie lub też ich nie mają albo nie są w stanie osiągnąć wymaganych wysokich dokładności wymiarowo-kształtowych.

Narzędzia sterowane, w których nie zastosowano mechatroniki najczęściej **mało elastycznie reagują na zmiany produkowanego asortymentu wyrobów**, bowiem wymagają one opracowania i wykonania, zazwyczaj dość złożonego, narzędzia specjalnego przeznaczonego do kształtowania określonego wyrobu.

Dlaczego stosujemy narzędzia sterowane ?

🎬 Ograniczenie liczby maszyn specjalnych, zazwyczaj trudniejszych do przezbrajania w przypadku wprowadzania nowych wyrobów.

🎬 Zastąpienie kilku narzędzi standardowych jednym narzędziem sterowanym, co, mimo jego relatywnie znacznej ceny, może obniżyć koszty wytwarzania i zwiększyć wydajności obróbki.

🎬 Zmniejszenie liczby operacji i związanej z tym liczby przemocowań przedmiotu, co zwiększa dokładność obróbki, zwłaszcza powierzchni o wymiarach sprzężonych oraz może prowadzić do skrócenia czasu obróbki.

🎬 Zwiększenie możliwości realizowania obróbki kompletnej (kształtowania wyrobu na jednej obrabiarce).



🏭 Zmniejszenie liczby obrabiarek i personelu koniecznych do wykonania zadania obróbkowego, co pozwala zwiększyć efektywność wytwarzania.

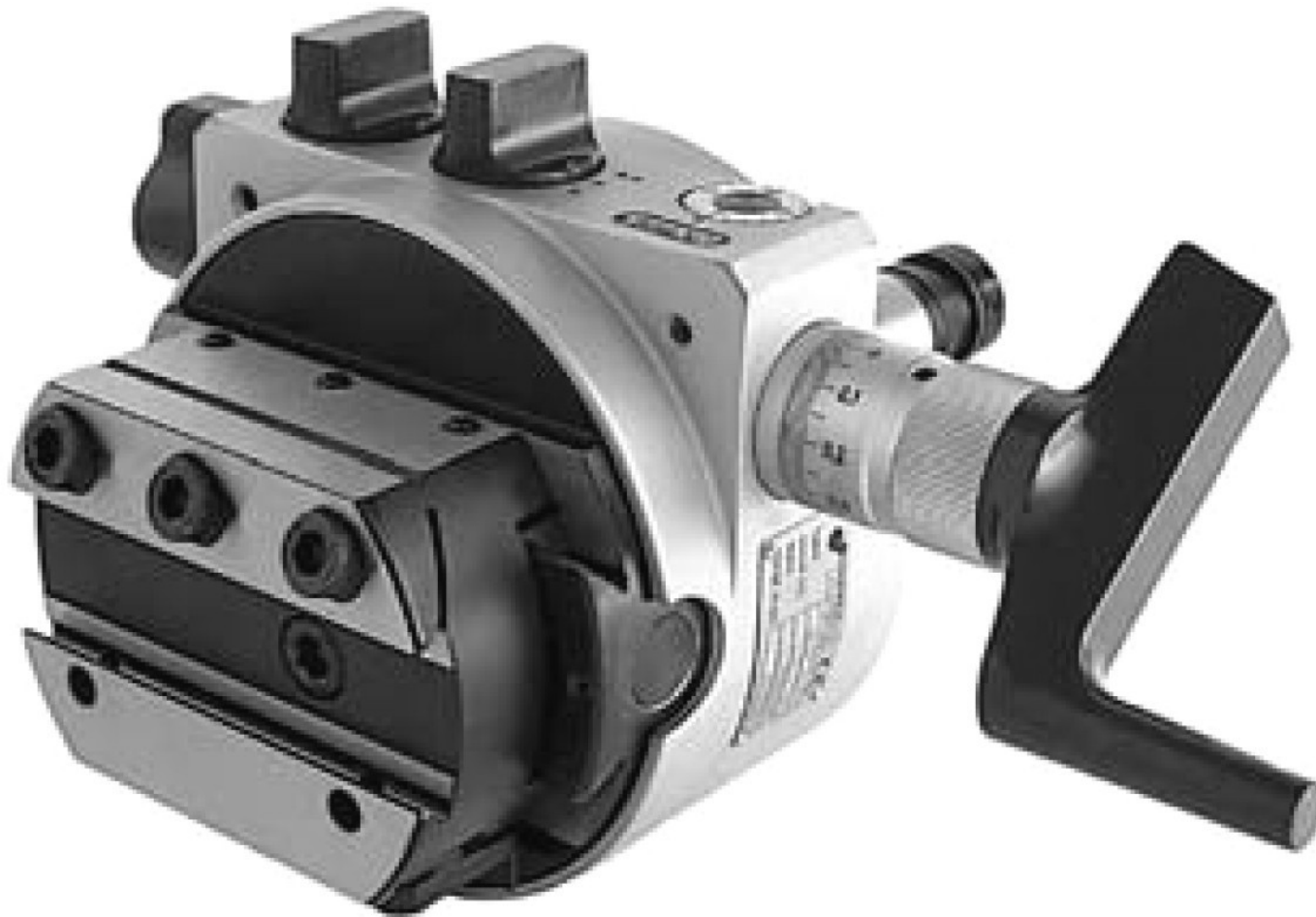
🏭 Skrócenie czasu obróbki powierzchni osiowo-symetrycznych, kinematyką toczenia, realizowaną na centrum frezarskim, w porównaniu z frezowaniem Cyrkulacyjnym.

🏭 Umożliwienie „toczenia” powierzchni osiowo-symetrycznych na tokarkach, gdy usytuowane są one nie w osi obrotu toczenia.

Pierwowzorami zaawansowanych narzędzi sterowalnych były różnego rodzaju proste oprawki i urządzenia mechaniczne, napędzane ręcznie bądź zderzakowo, które służyły do nadawania ruchów promieniowych narzędziom obrotowym.

Jednym z pierwszych takich rozwiązań narzędzi była głowica, skonstruowana przez włoskiego inżyniera Marino D'Andrea w roku 1951, Służyła ona do nadawania ruchów promieniowych wirującemu narzędziu.





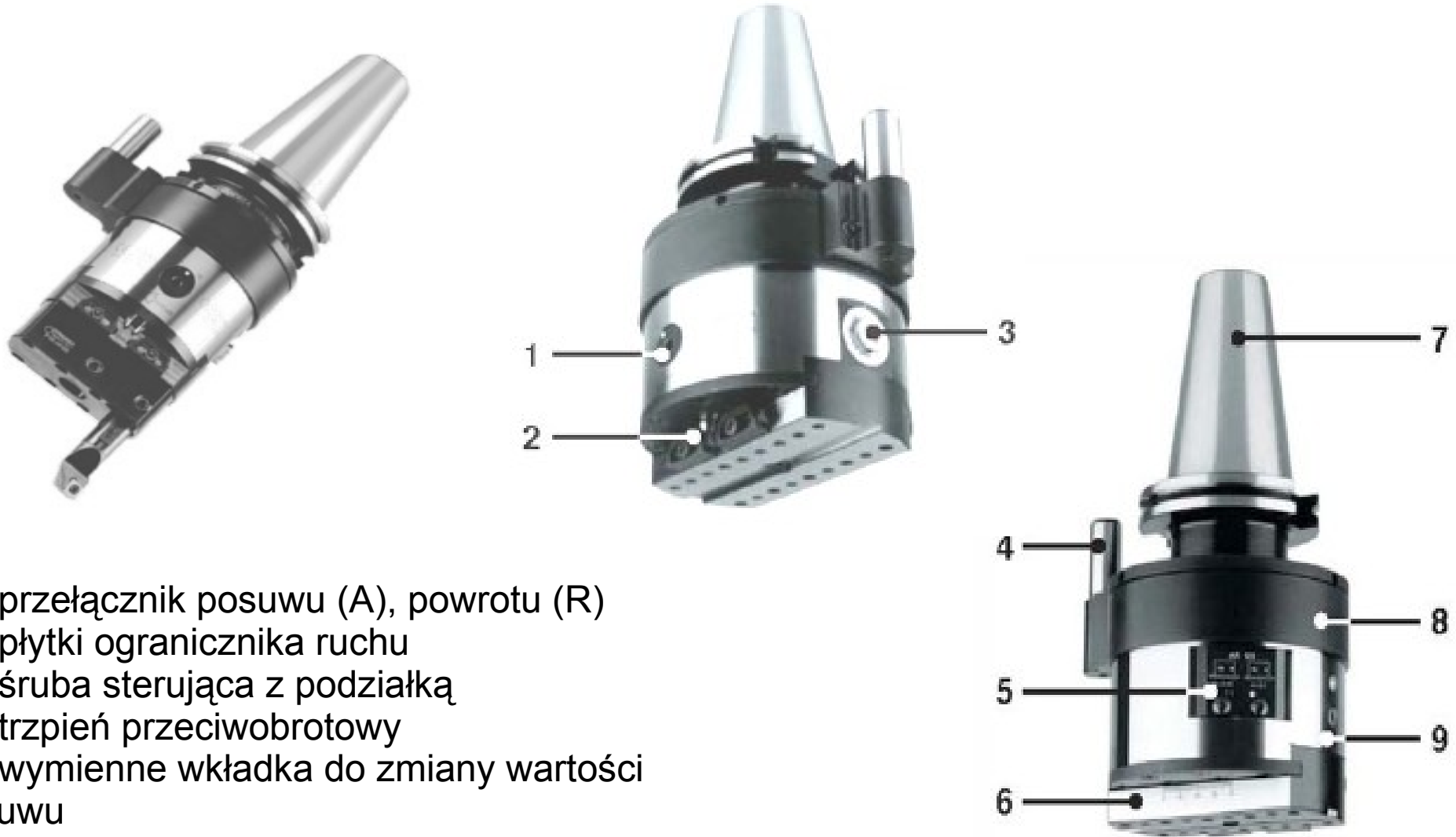
Głowica wytaczarska służąca do wykonywania przemieszczeń promieniowych narzędzia w ruchu obrotowym produkowana do niedawna przez firmę D`Andrea

Pierwowzorami zaawansowanych narzędzi sterowalnych były różnego rodzaju proste oprawki i urządzenia mechaniczne, napędzane ręcznie bądź zderzakowo, które służyły do nadawania ruchów promieniowych narzędziom obrotowym.

Jednym z pierwszych takich rozwiązań narzędzi była głowica, skonstruowana przez włoskiego inżyniera Marino D'Andrea w roku 1951, Służyła ona do nadawania ruchów promieniowych wirującemu narzędziu.



Przykład głowicy wytaczarskiej AUTORADIAL (firma D`Andrea)



- 1 – przełącznik posuwu (A), powrotu (R)
- 2 – płytki ogranicznika ruchu
- 3 – śruba sterująca z podziałką
- 4 – trzpień przeciwbrotowy
- 5 – wymienne wkładka do zmiany wartości posuwu
- 6 – sanie narzędziowe
- 7 – wymienna część chwytowa
- 8 – nieobrotowa część korpusu
- 9 – wirująca część korpusu

Na obrabiarce trzeba zamocować dodatkowo tzw. „stop blok”, służący do unieruchomienia korpusu narzędzia, aby możliwe było nadanie ruchu promieniowego suwaka z ostrzem podczas ruchu obrotowego głowicy.

Napęd na sanki przekazywany jest automatycznie z wrzeciona obrabiarzki poprzez system przekładni zębatach. W głowicy znajdują się przesuwne zderzaki, które należy odpowiednio ustawić, aby ograniczyć promieniowy ruch suwaka zarówno podczas jego ruchu roboczego, jak i powrotnego.

Po najechaniu na zderzak mechanizm przełącza ruch promieniowy na powrotny i suwak przesuwa się aż do drugiego zderzaka bez konieczności zatrzymania lub zmiany kierunku obrotów wrzeciona.

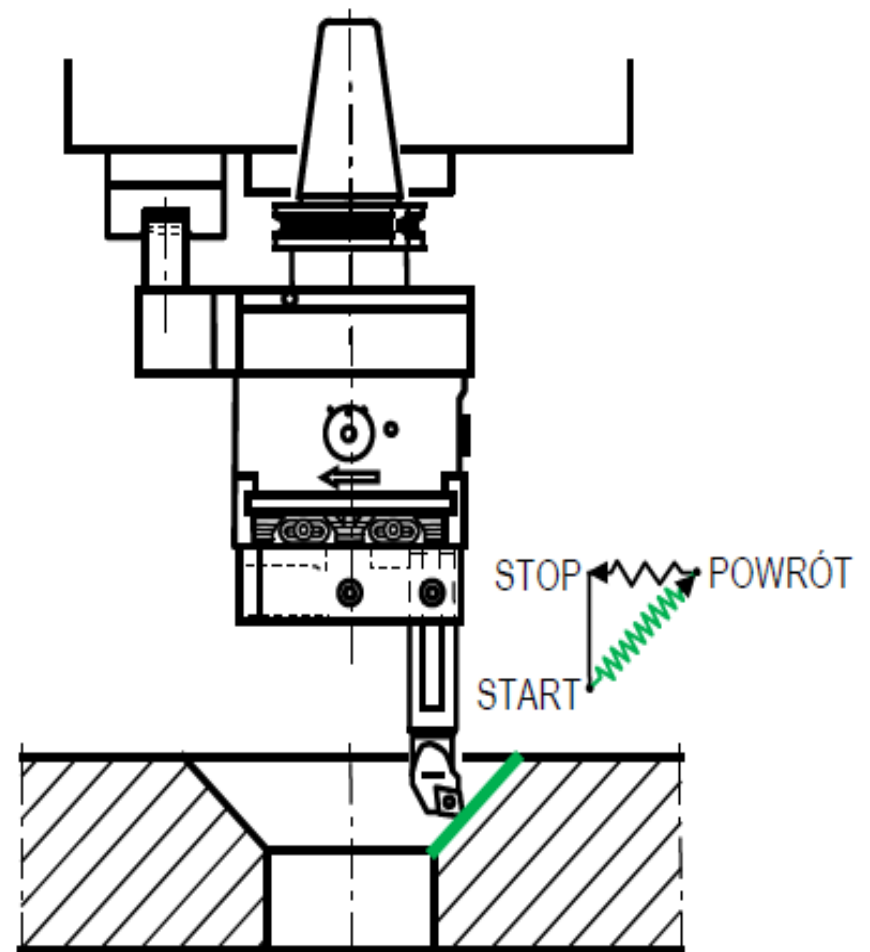
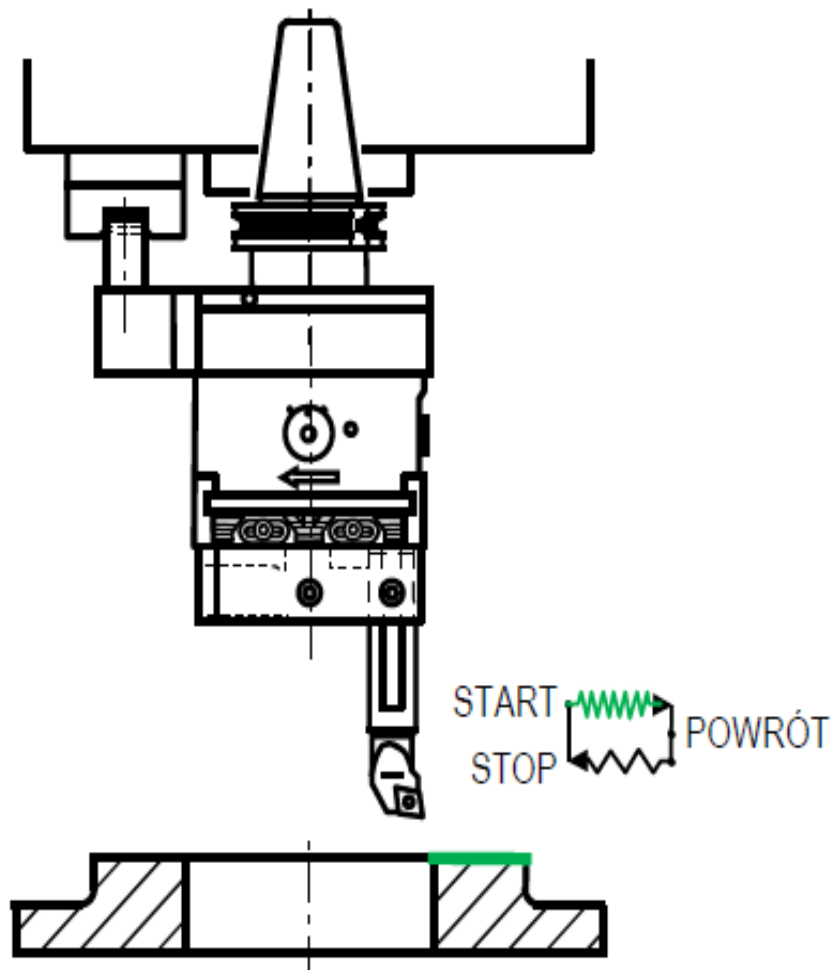
Aby wykonać kolejny cykl obróbkowy wystarczy wykonać kilka obrotów wrzeciona w przeciwnym kierunku.

Nowoczesne obrabiarki mają wiele możliwości nadawania dodatkowych ruchów narzędziom skrawającym. Typowym przykładem są gniazda napędzane w głowicach narzędziowych tokarek, pozwalające na nadawanie ruchów obrotowych narzędziom, np. wiertłom, frezom, a nawet ściernicom.

Także niektóre centra obróbkowe i obrabiarki specjalizowane do wielkoseryjnej produkcji na transferowych liniach produkcyjnych umożliwiają nadawanie ruchów osiowych lub obrotowych cięgnom/ trzpieniom poprzez wrzeciono obrabiarki.

Do napędu narzędzi, zwłaszcza w kierunkach promieniowych, można stosować także m.in.:

- ~ płozy ślizgowe,
- ~ mechanizmy najazdowe,
- ~ ruchy przesuwne trzpieni,
- ~ ruchy obrotowe trzpieni,
- ~ ciśnienie chłodziwa,
- ~ siły odśrodkowe, itp.

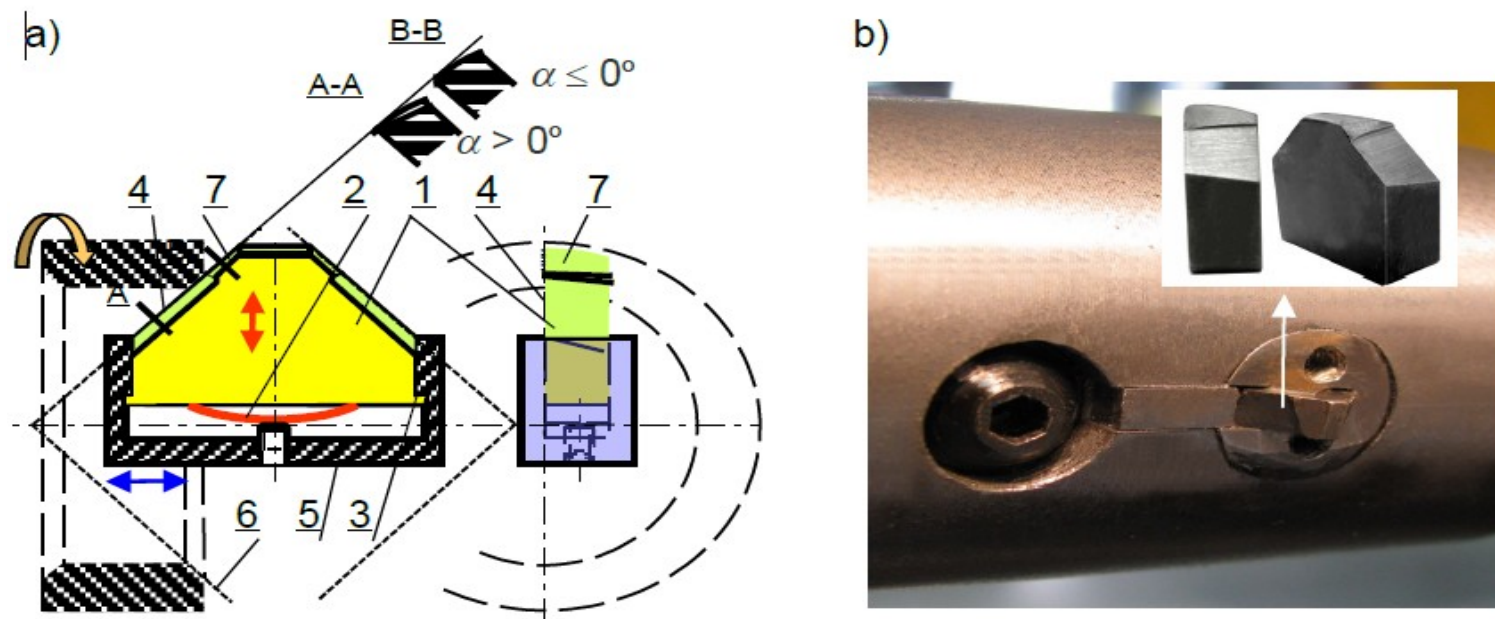


Schemat wyjaśniający zasadę: a – toczenia poprzecznego, b – wykonywanie stożków za pomocą głowic serii Autoradial (firma D`Andrea)



Automatyczna wymiana głowic Autoradial (firma D`Andrea)

Jednym z najprostszych narzędzi sterowanych jest fazownik przedstawiony poniżej

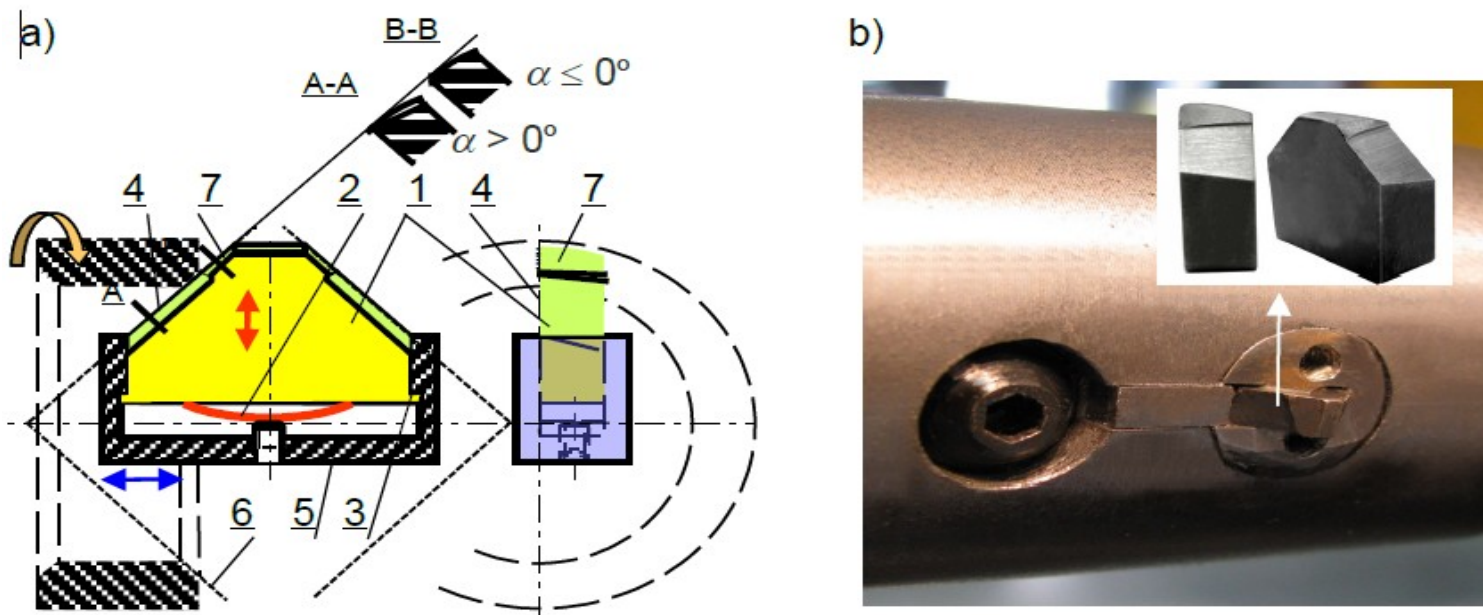


Zasada działania tego narzędzia jest następująca:

Ostrze skrawające 1 dociskane jest sprężystie za pomocą wkrętu i sprężyny 2 do powierzchni oporowych 3 kasetki 5. Na przedłużeniu krawędzi skrawającej 4, stycznie do powierzchni działania 6 ostrzy 1, znajdują się płozy ślizgowe 7, będące fragmentami powierzchni stożkowych. Krawędź 4 skrawa aż do chwili, gdy płaza ślizgowa 7 zetknie się swoją zaokrągloną krawędzią z kształtowanym przedmiotem w miejscu, gdzie ma być zakończona fazka. Uniemożliwia to dalsze zagłębianie się ostrza w materiale, bowiem podczas kontynuowania ruchu osiowego narzędzia płaza, opierając się o ukształtowaną fazkę, cofa ostrze w kierunku promieniowym. Po wyjściu narzędzia z drugiej strony otworu, ostrze wysuwa się ponownie, by w powrotnym ruchu osiowym, podczas wycofywania narzędzia, wykonać fazkę tylną za pomocą drugiej symetrycznej części ostrza.

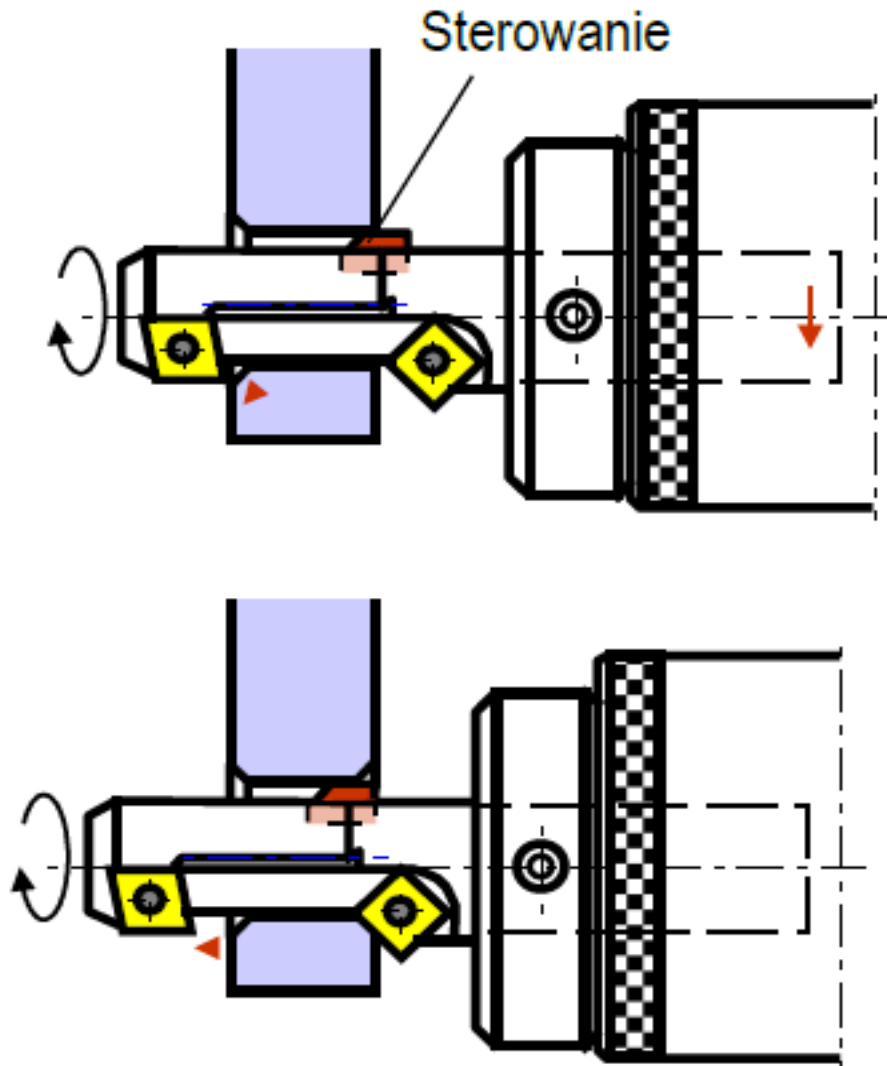
Jednym z najprostszych narzędzi sterowanych jest fazownik przedstawiony poniżej

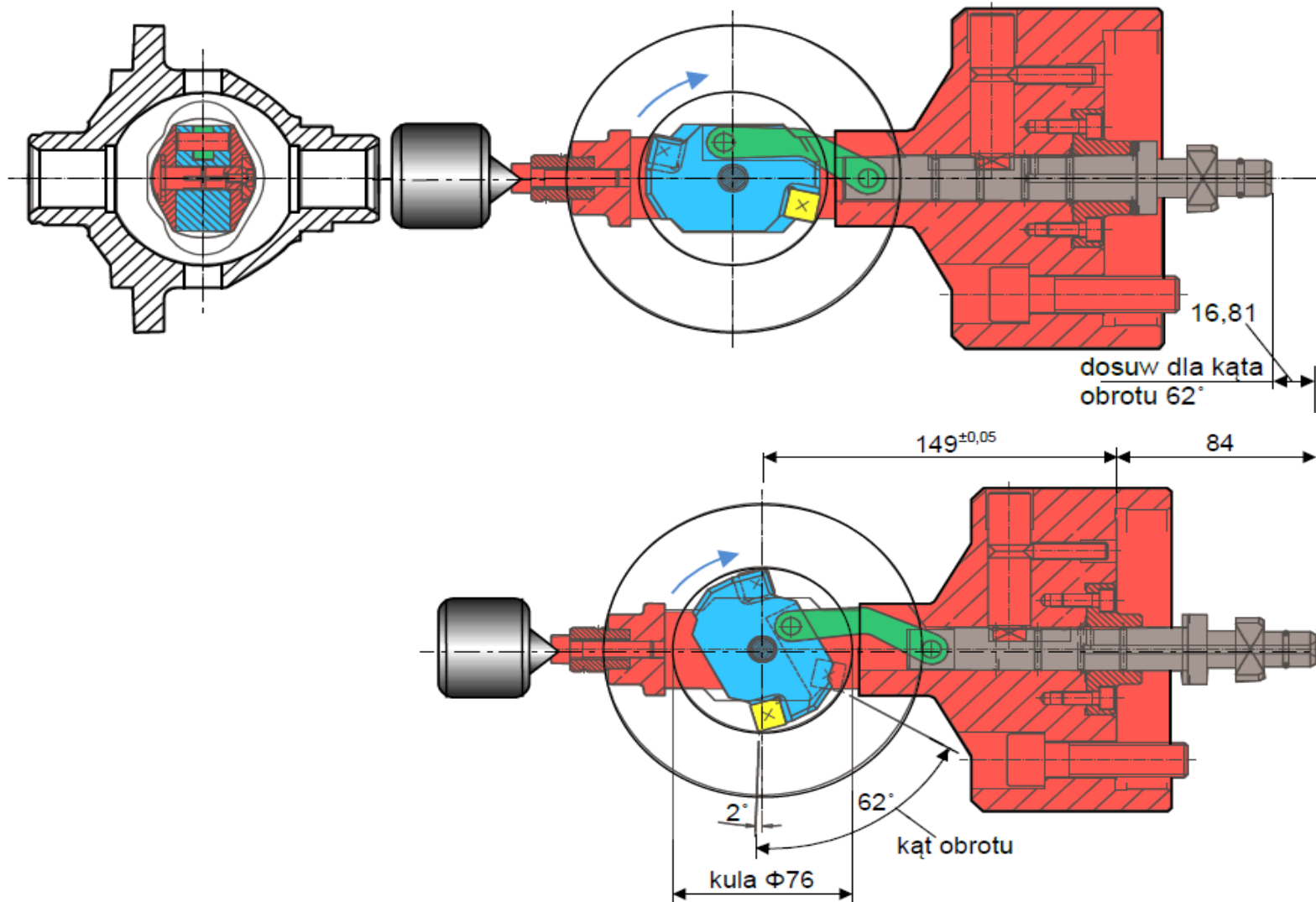
Zasada działania tego narzędzia jest następująca.



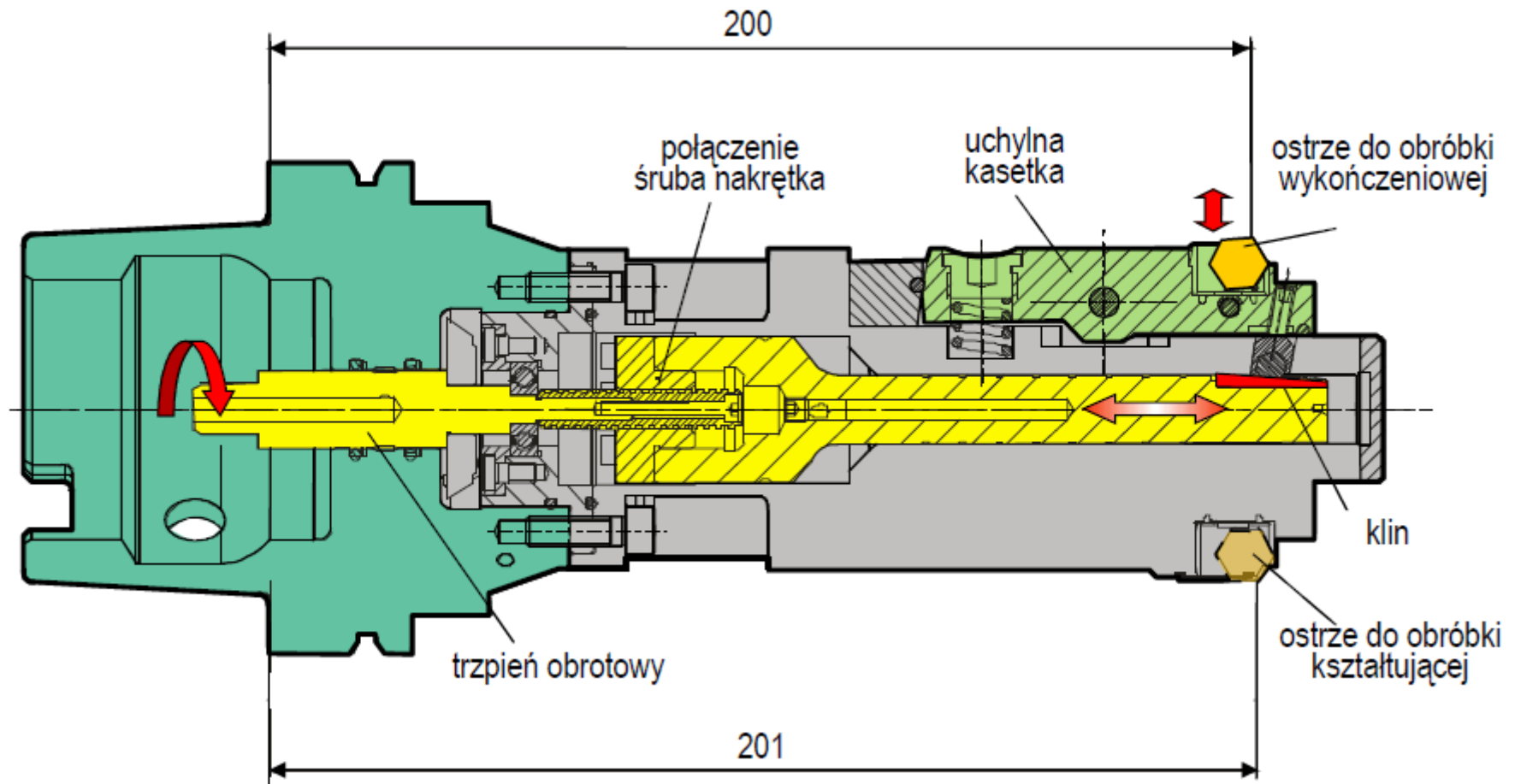
Ostrze skrawające 1 dociskane jest sprężystością za pomocą wkrętu i sprężyny 2 do powierzchni oporowych 3 kasetki 5. Na przedłużeniu krawędzi skrawającej 4, stycznie do powierzchni działania 6 ostrzy 1, znajdują się płozy ślizgowe 7, będące fragmentami powierzchni stożkowych. Krawędź 4 skrawa aż do chwili, gdy płoza ślizgowa 7 zetknie się swoją zaokrągloną krawędzią z kształtowanym przedmiotem w miejscu, gdzie ma być zakończona fazka. Uniemożliwia to dalsze zagłębianie się ostrza w materiale, bowiem podczas kontynuowania ruchu osiowego narzędzia płoza, opierając się o ukształtowaną fazkę, cofa ostrze w kierunku promieniowym. Po wyjściu narzędzia z drugiej strony otworu, ostrze wysuwa się ponownie, by w powrotnym ruchu osiowym, podczas wycofywania narzędzia, wykonać fazkę tylną za pomocą drugiej symetrycznej części ostrza

Przykład narzędzia sterowanego, z napędem najazdowo-kopiovym, do wykonywania fazek z obu stron otworu na obrabiarce, która nie ma możliwości przemieszczania promieniowego ostrza.

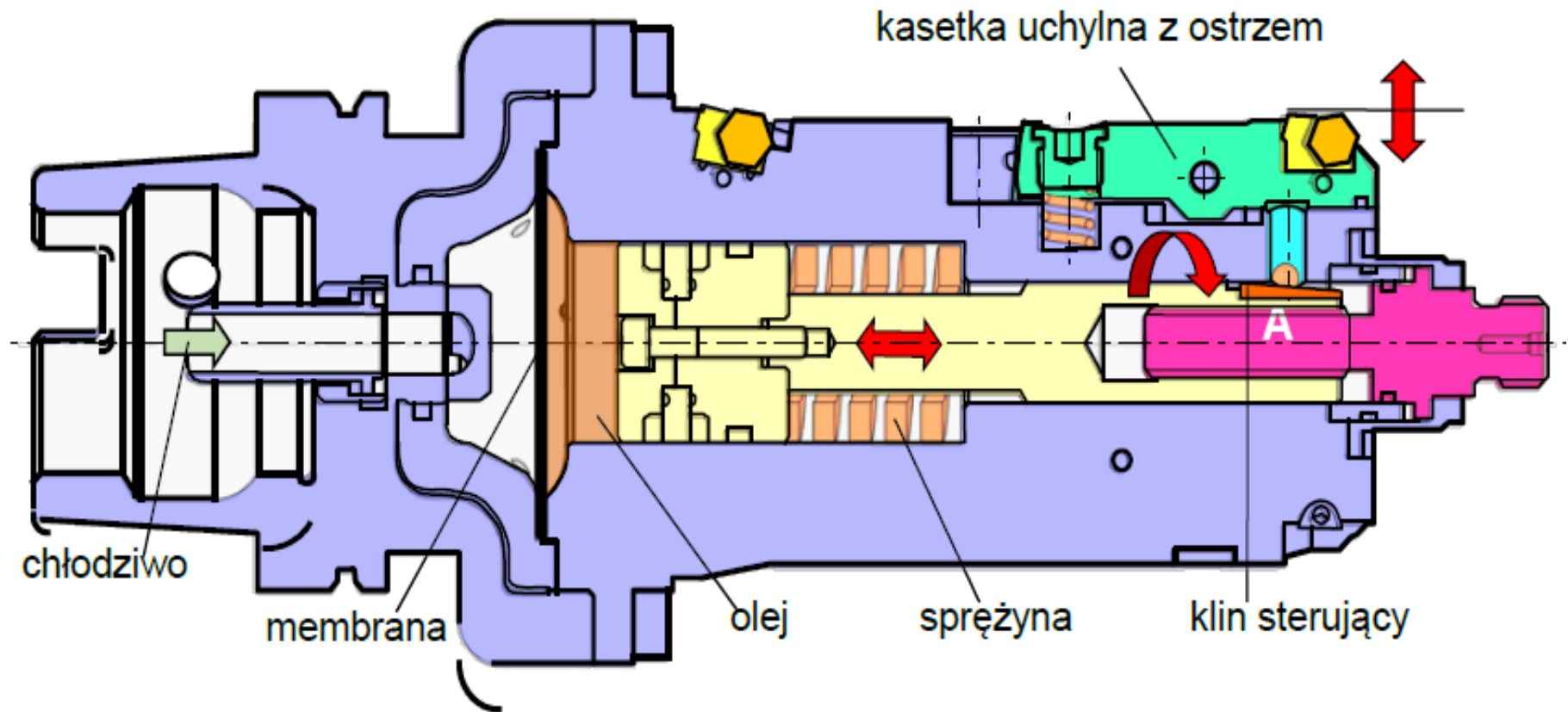




Narzędzie do wytaczania powierzchni kulistych z napędem za pomocą trzpienia lub mechanizmu najazdowego: a) pozycja startowa, b) pozycja końcowa (wg firmy Mapal)



Narzędzie do wytaczania cylindra z napędem za pomocą obrotowego trzpienia i połączenia śrubowego (firma Mapal)



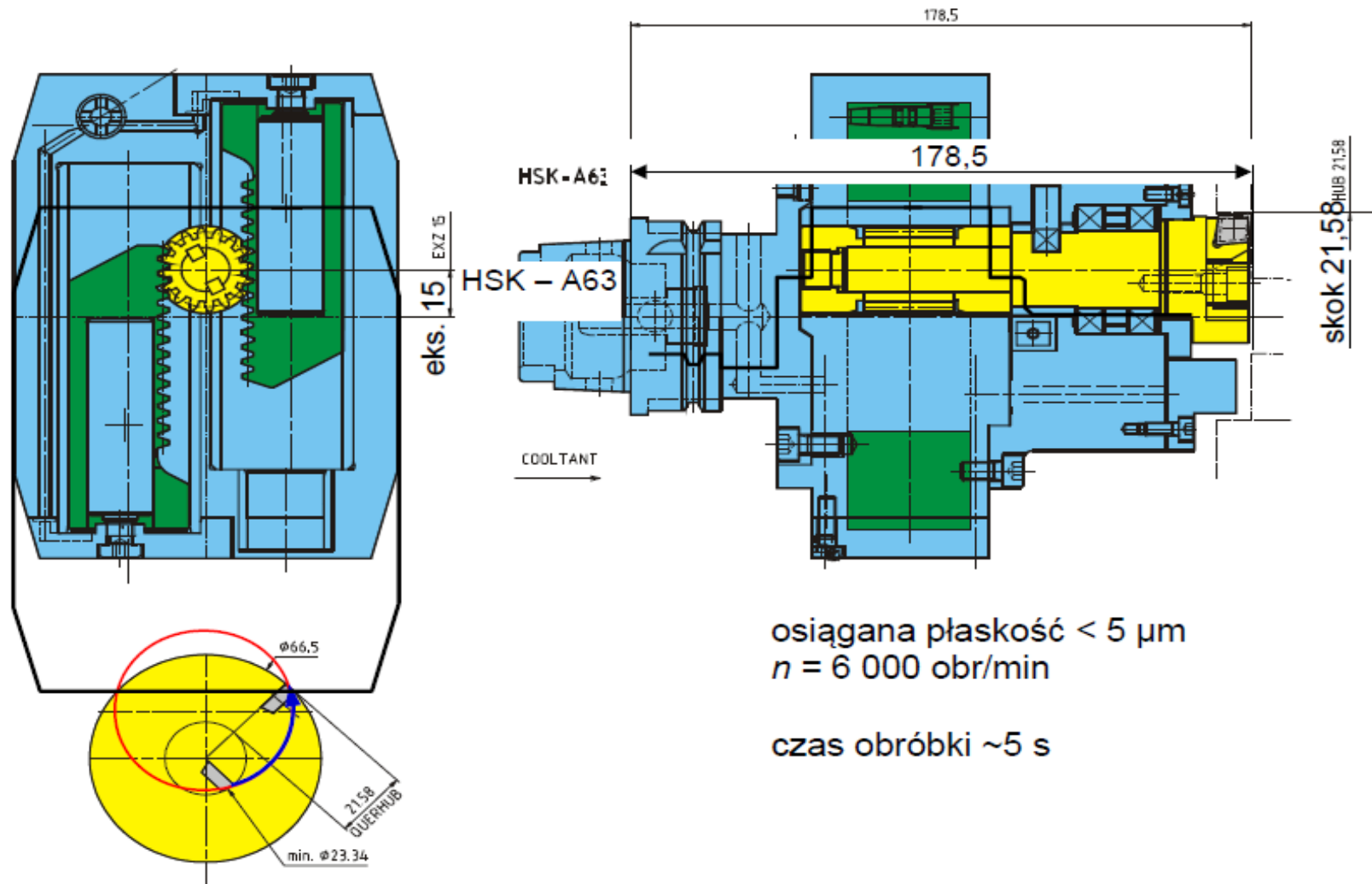
Narzędzie sterowane, w którym kasetka z ostrzem napędzana jest ciśnieniem chłodziwa (firma Mapal)

Zaletą narzędzi sterowanych za pomocą ciśnienia chłodziwa jest możliwość stosowania ich na zwykłych obrabiarkach CNC, jednak pod warunkiem, że obrabiarka taka wyposażona jest w układ chłodząco-smarujący doprowadzający płyn obróbkowy przez wrzeciono i to pod dużym ciśnieniem, zazwyczaj co najmniej o wartości 50 barów.

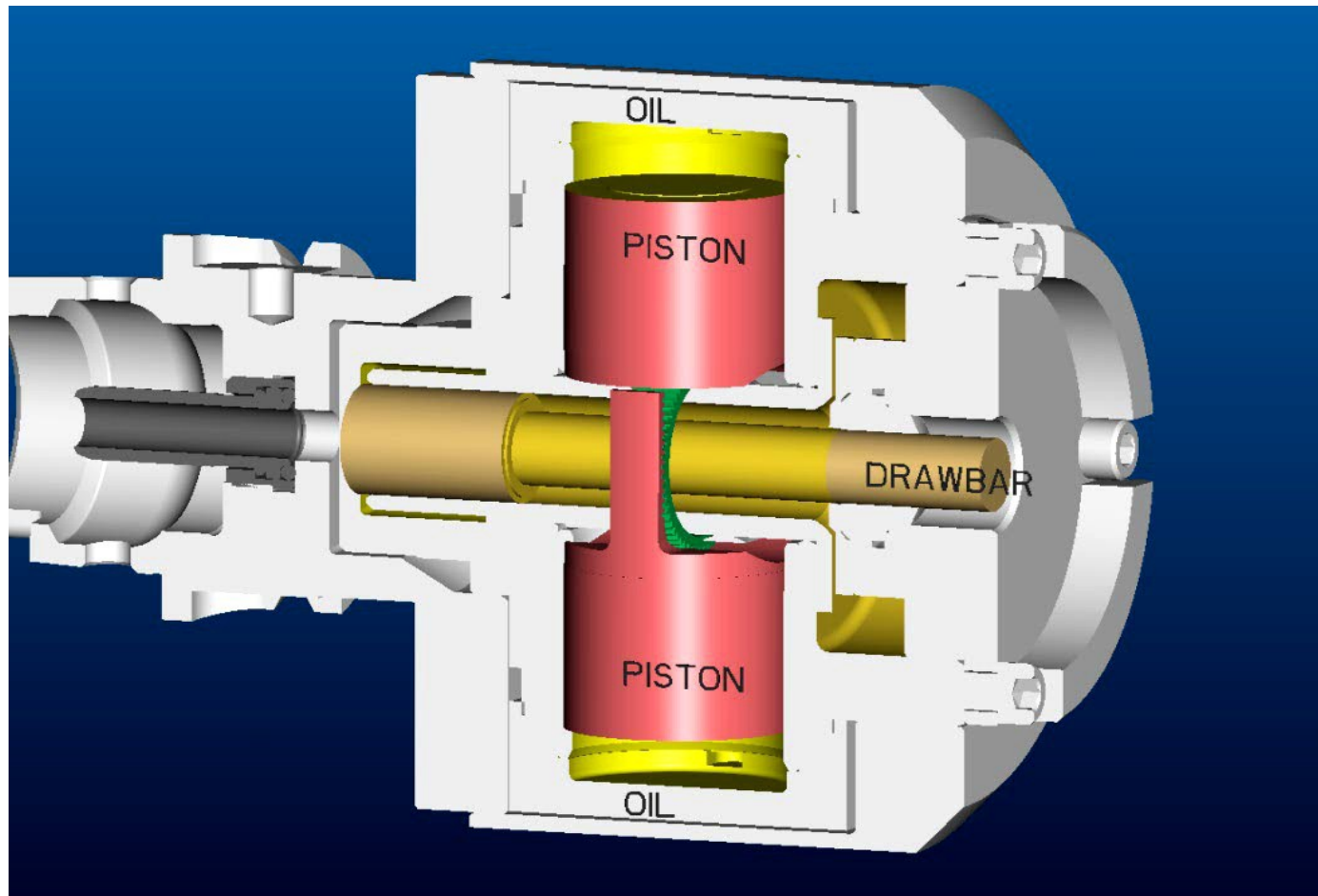
Narzędzia mechatroniczne ze sterowaniem niezależnym należy rozumieć jako takie narzędzia, które mają własny układ sterowania, działający wg własnych procedur, nie sprzężony z programem numerycznym i układem sterowania obrabiarki NC/CNC.

Narzędzia te mogą być podłączone mechanicznie do napędu wrzeciona obrabiarki, aby móc realizować ruch główny skrawający. Czasami, poprzez odpowiednie przekładnie zębate, napęd ten wykorzystywany jest także do realizowania ruchów posuwowych, choć zazwyczaj do napędu tych ruchów stosowany jest własny napęd w postaci np. silnika elektrycznego lub aktuatora piezoelektrycznego.

Niektóre rozwiązania konstrukcyjne tych narzędzi pozwalają na pewien rodzaj komunikacji ze sterowaniem CNC obrabiarki, ale dotyczy to zazwyczaj jedynie funkcji inicjowania startu procedury działającej już wg własnego programu, najczęściej o bardzo prostych możliwościach, np. umożliwiających toczenie poprzeczne lub wykonywanie stożków.



Do napędu mechanizmów, które przemieszczają promieniowo ostrza skrawające bywają stosowane także siły odśrodkowe, które działają na suwliwie bądź obrotowo umocowane elementy o określonej masie



Mechanizm do napędu cięgna za pomocą sił odśrodkowych i przekładni hydraulicznej (firma Mapal)

Narzędzia sterowane za pomocą sił odśrodkowych mają także tę zaletę, że można je stosować i manipulować nimi nie tylko na specjalnych obrabiarkach zadaniowych, ale także na zwykłych obrabiarkach CNC, których nie trzeba wyposażać w dodatkowe układy napędowe i sterowane osie

Narzędzia napędzane i sterowane siłami odśrodkowymi lub ciśnieniem chłodziwa, mają niezbyt dużą precyzję przemieszczeń położenia ostrzy skrawających. Aby mogły realizować dokładny, końcowy wymiar kształtowanej powierzchni, muszą być tak skonstruowane, aby ruch sań narzędziowych odbywał się do regulowanych zderzaków.

Ciągłe dążenie do zwiększania efektywności wytwarzania zaowocowało opracowaniem przez firmę Komet systemu głowicy wytaczarskiej M 042 wraz z układem zdalnej korekcji ustawień promieniowych ostrza narzędzia.

System ten umożliwia:

- ~ wstępne ustawianie narzędzia przed włączeniem go do produkcji,
- ~ pomiar średnicy wykonanego otworu na obrabiarce lub poza nią,
- ~ obliczenie wymaganej korekcji ustawienia naroża ostrza głowicy,
- ~ transmisję danych między głowicą wytaczarską i pomiarową, układem sterowania systemu M 042, realizowaną bezprzewodowo w podczerwieni,
- ~ automatyczne przestawienie suwaka głowicy może być wykonywane podczas obrotów wrzeciona jeśli ich prędkość jej nie przekracza wartości 2500 obr/min,
- ~ ustawianie ostrza z dokładnością 0,001 mm odniesioną do średnicy otworu,

- ~ kompensację wymiarów związaną ze zużyciem narzędzia,
- ~ możliwość jednoczesnej współpracy układu z 15 głowicami,
- ~ możliwość niezależnego ustawiania 4 korekcji dla każdej z głowic,
- ~ pracę z prędkością obrotową wrzeciona do 7000 obr/min,
- ~ zakres ustawiania wymiaru średnicowego od -0,3 do +1,7mm,
- ~ bezstykowe, indukcyjne zasilanie głowicy,
- ~ możliwość wewnętrznego doprowadzenia chłodziwa do narzędzia skrawającego.

Główce mechatroniczne rodziny TA –TRONIC: a) budowa głowicy, b) zestaw urządzeń do realizacji ruchów niezależnych od sterowania CNC obrabiarki, c) głowica o dużych wymiarach zamocowana do korpusu obrabiarki (firma D`Andrea)

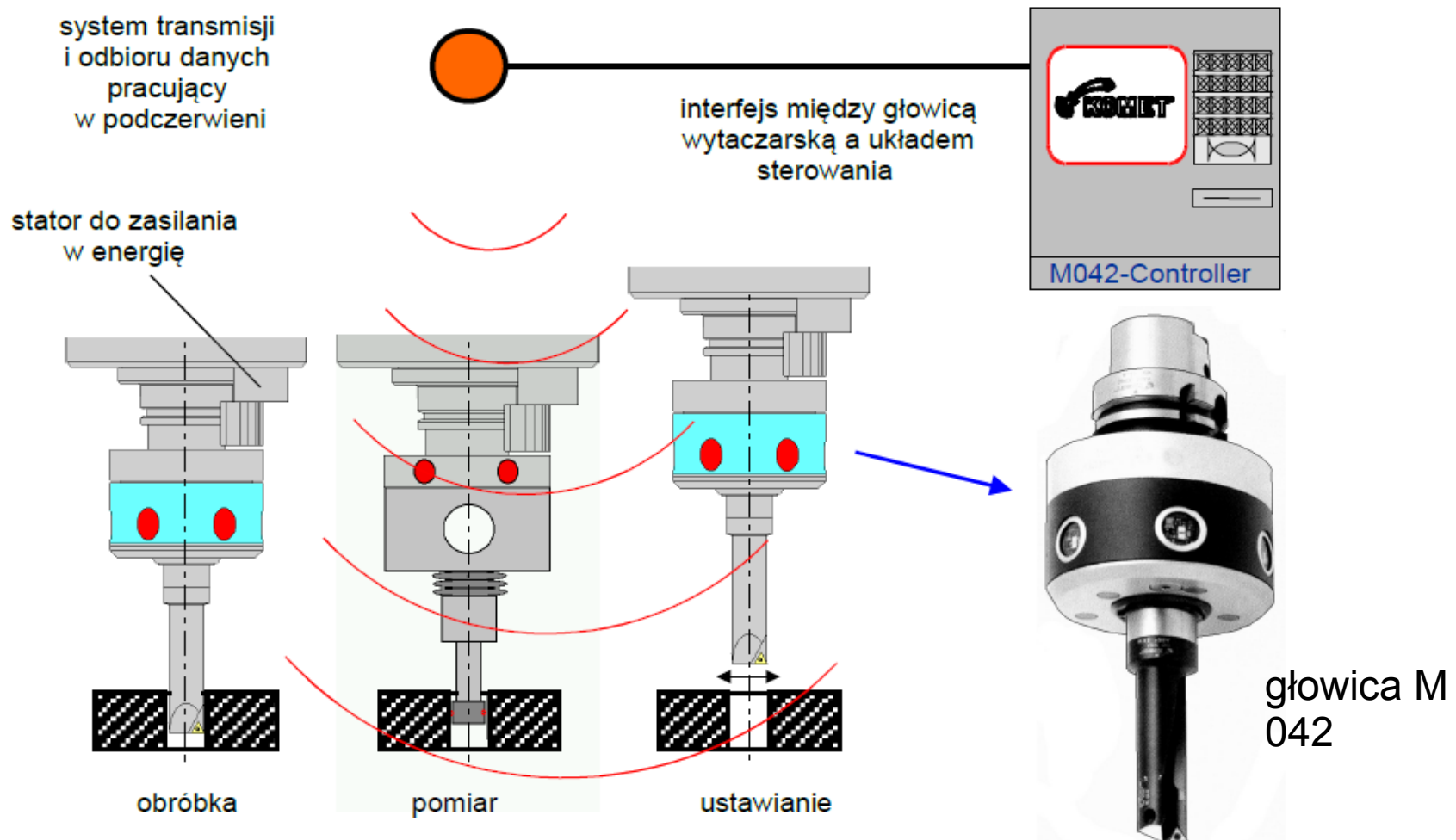


część chwytowa
kołek
przeciwbrotowy
silnik
korpus stały
korpus obrotowy
przeciwciężar
sanie narzędziowe



REMOTE-CONTROL
U-CONTROL WIRELESS

Przedstawiony system, poprzez automatyzację czynności i możliwość wprowadzania ustawień korekcyjnych bez zatrzymywania obrotów wrzeciona, pozwala znacznie skrócić nieproduktywne przestoje obrabiarki, a poprzez możliwość precyzyjnego ustawiania narzędzia umożliwia osiąganie bardzo wąskich pól tolerancji i niemal całkowite wyeliminowanie tzw. „dryfu” wymiarów obrabianych przedmiotów.



System głowicy wytaczarskiej M 042 wraz z układem do zdalnej korekcji ustawień promieniowych ostrza narzędzia (firma Komet) 31

Kolejną nowością w narzędziach mechatronicznych jest wprowadzenie technologii komunikacji elektronicznej Bluetooth®. Zastosowano ją przez firmę Komet w głowicach do bardzo dokładnego wytaczania MicroKom®BluFlex™ (rys. 3.4). Głowice te są rozwinięciem głowic M 042 (rys. 3.3), w których komunikacja między głowicą a kontrolerem M 042 odbywała się w podczerwieni.



System MicroKom®BluFlex™ do dokładnego wytaczania z zastosowaniem technologii Bluetooth® (firma Komet)

Głowica MicroKom®BluFlex™, z częściową kompensacją niewyważenia, pozwala na pracę z wysokimi prędkościami obrotami, nawet do $n_w = 20\,000$ obr/min, a jej uniwersalność umożliwia mocowanie narzędzi zarówno z chwytem ABS®, jak i cylindrycznym.

Poprzez odpowiednie redukcje, głowicę można doposażyć w narzędzie mostkowe służące do obtaczania wałków w zakresie średnic $D=5-70$ mm, jak również wytaczadła antydrganiowe do obróbki średnic z zakresu $D=0,5-26$ mm z korpusem z węglików spiekanych, przewidziane do głębokiego wytaczania.

Mocując w głowicy uniwersalne narzędzia firmy Komet, przedstawione na można znacznie zwiększać zakres wytaczania nawet do średnic 215 mm. Inne cechy użytkowe głowic to:

- ~ duży zakres regulacji na średnicy $-0,4$ do $+4,6$ mm,
- ~ łatwa obsługa,
- ~ wewnętrzne doprowadzenie chłodziwa w całym zakresie wytaczania,
- ~ przystosowane do zminimalizowanego smarowania (MQL),
- ~ możliwość adaptacji do każdej maszyny dzięki standardowym oprawkom narzędziowym,

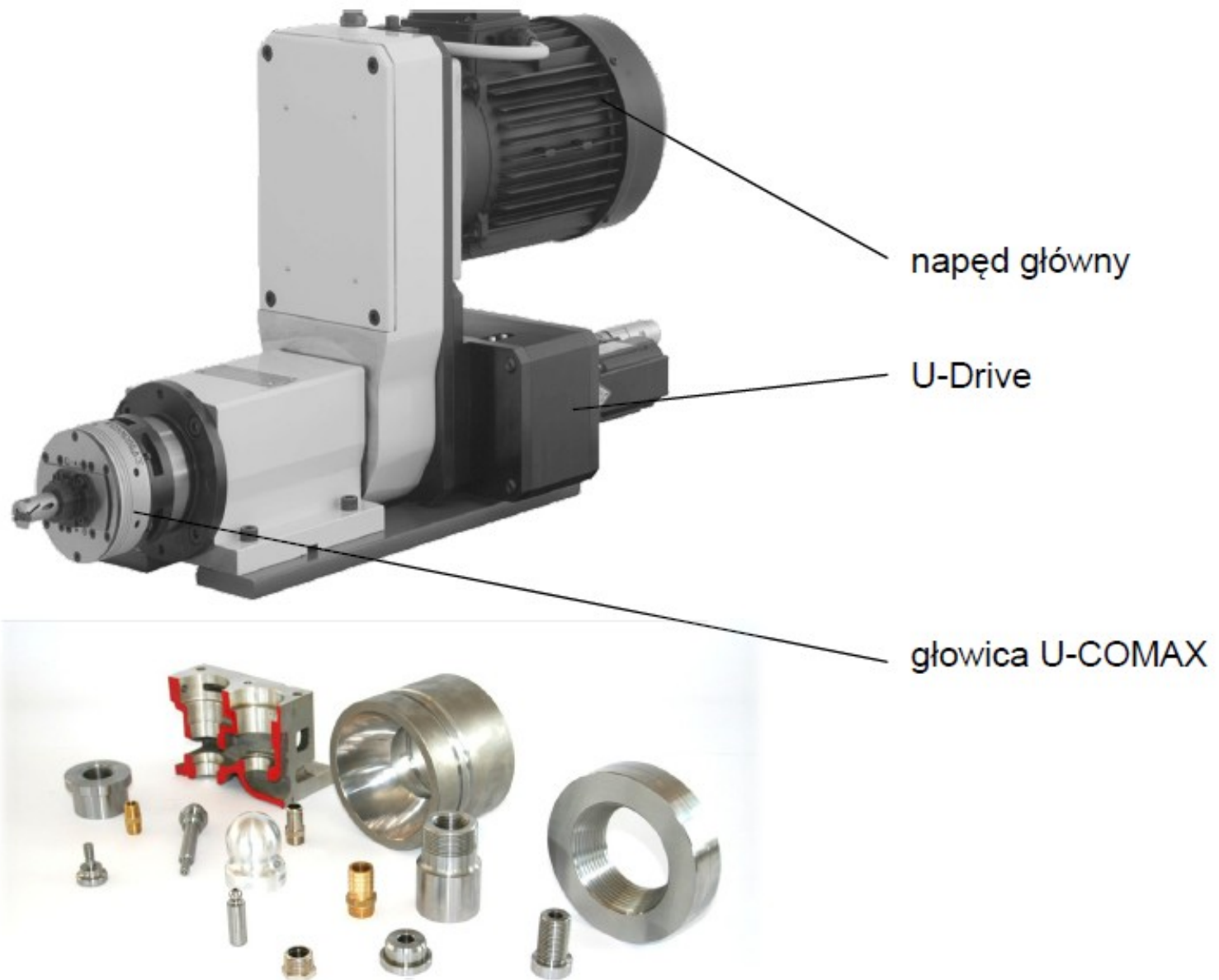
- ~ dokładność wyświetlacza 0,002 mm na średnicy,
- ~ możliwość wyświetlania w mm i calach,
- ~ możliwość odczytu absolutnego i przyrostowego,
- ~ funkcja oszczędzania energii (automatyczne wyłączenie po 30 sekundach),
- ~ blokada głowicy.

Stąd też zrodził się pomysł, aby skonstruować takie narzędzia, które można by **sprząc z układem sterowania obrabiarki** NC/CNC co stworzyłoby możliwości precyzyjnej obróbki nie tylko prostych, ale także bardzo złożonych kształtów powierzchni wewnętrznych, zewnętrznych i czołowych przedmiotów.

Przykładem narzędzi mechatronicznych ze sterowaniem zależnym jest głowica U-COMAX, wyposażona w niezależne napędy, np. jeden własny silnik napędu głównego i drugi do napędu posuwów w osi U.

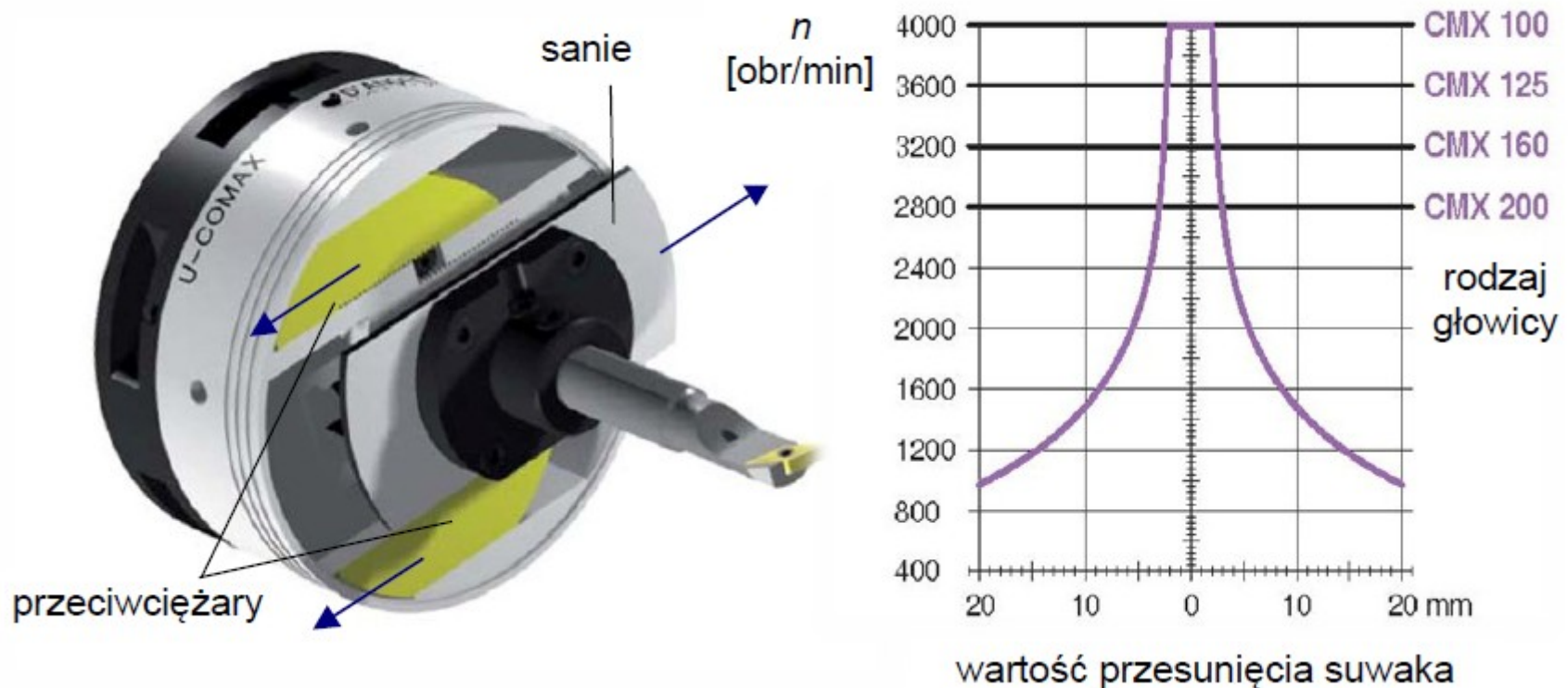
Takie zestawy oferowane są głównie dla obrabiarek zadaniowych, np. w transferowych liniach produkcyjnych.

Napęd w osi U urządzenia odbywa się za pomocą urządzenia U-Drive. Urządzenie to jest zarządzane bezpośrednio z układu sterowania CNC obrabiarki lub też z niezależnego sterownika.



Głowica U-COMAX z niezależnymi napędami (a) oraz przykładowe przedmioty wykonywane za jej pomocą (b) (firma D`Andrea)

Z wykresu przedstawionego na tym rysunku widać, że mimo zastosowania mechanizmu samowyważającego narzędzia, przemieszczając suwak zaledwie o 20 mm należy, w przypadku głowicy CMX 100, ograniczyć jej maksymalne dopuszczalne prędkości obrotowe z 4000 do 1000 obr/min, a więc aż o 75%.




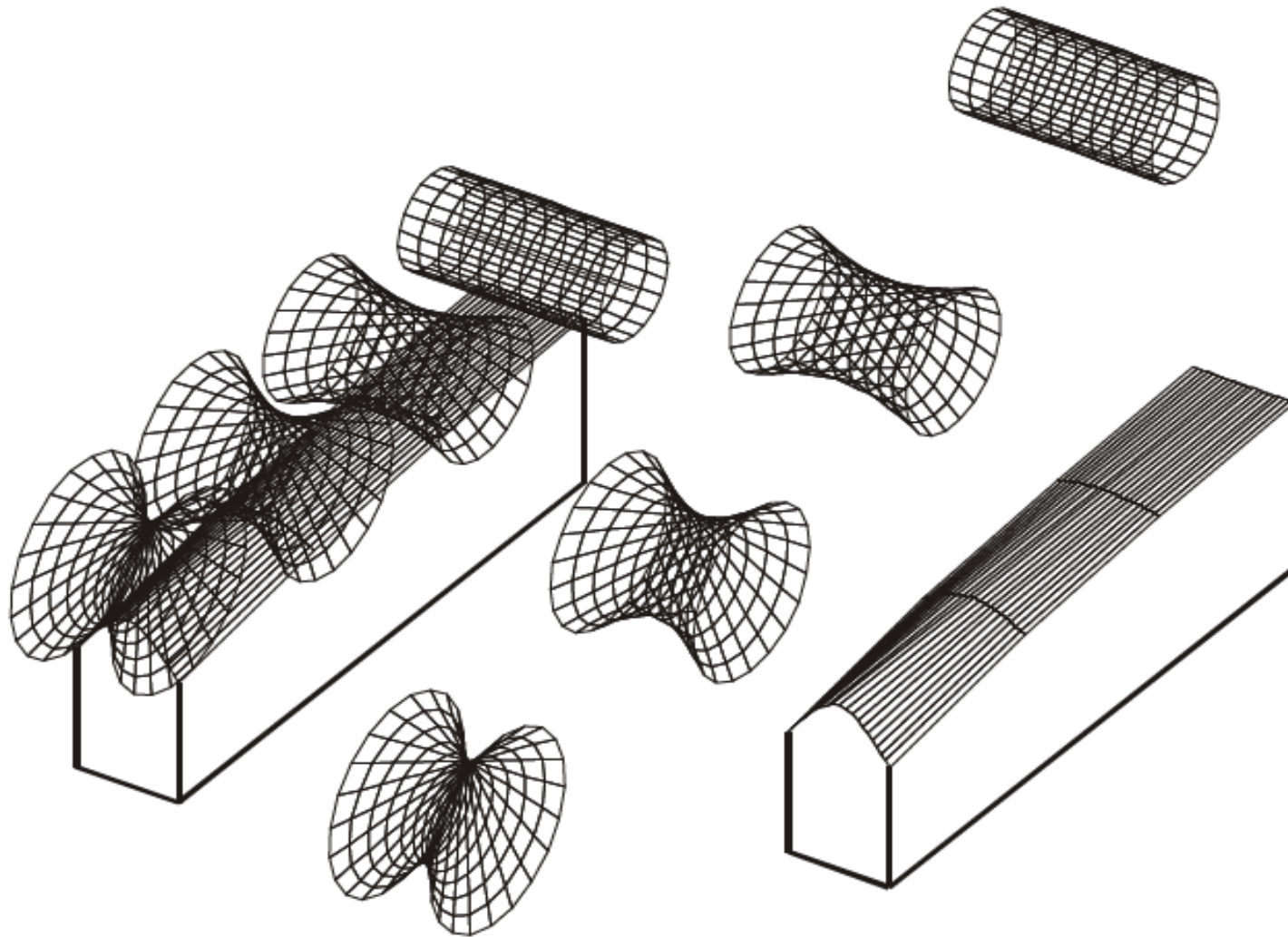
Głowica U-COMAX wraz z wykresem dopuszczalnych obrotów
(firma D`Andrea)

Na saniach mocuje się narzędzie skrawające.

Elementy służące do zamiany ruchu osiowego na promieniowy mogą mieć rowki nacięte pod kątem 45° , wówczas przełożenie wynosi 1:1, lub pod kątem 26° , co daje przełożenie 1:2.

Dane oraz energia do napędu silnika głowicy przekazywane są za pomocą statora, umieszczonego na stałe na korpusie wrzeciennika obrabiarki. **Selsyn1** wraz z silnikiem przesuwają trzpień napędzający sanie narzędziowe głowicy planującej.

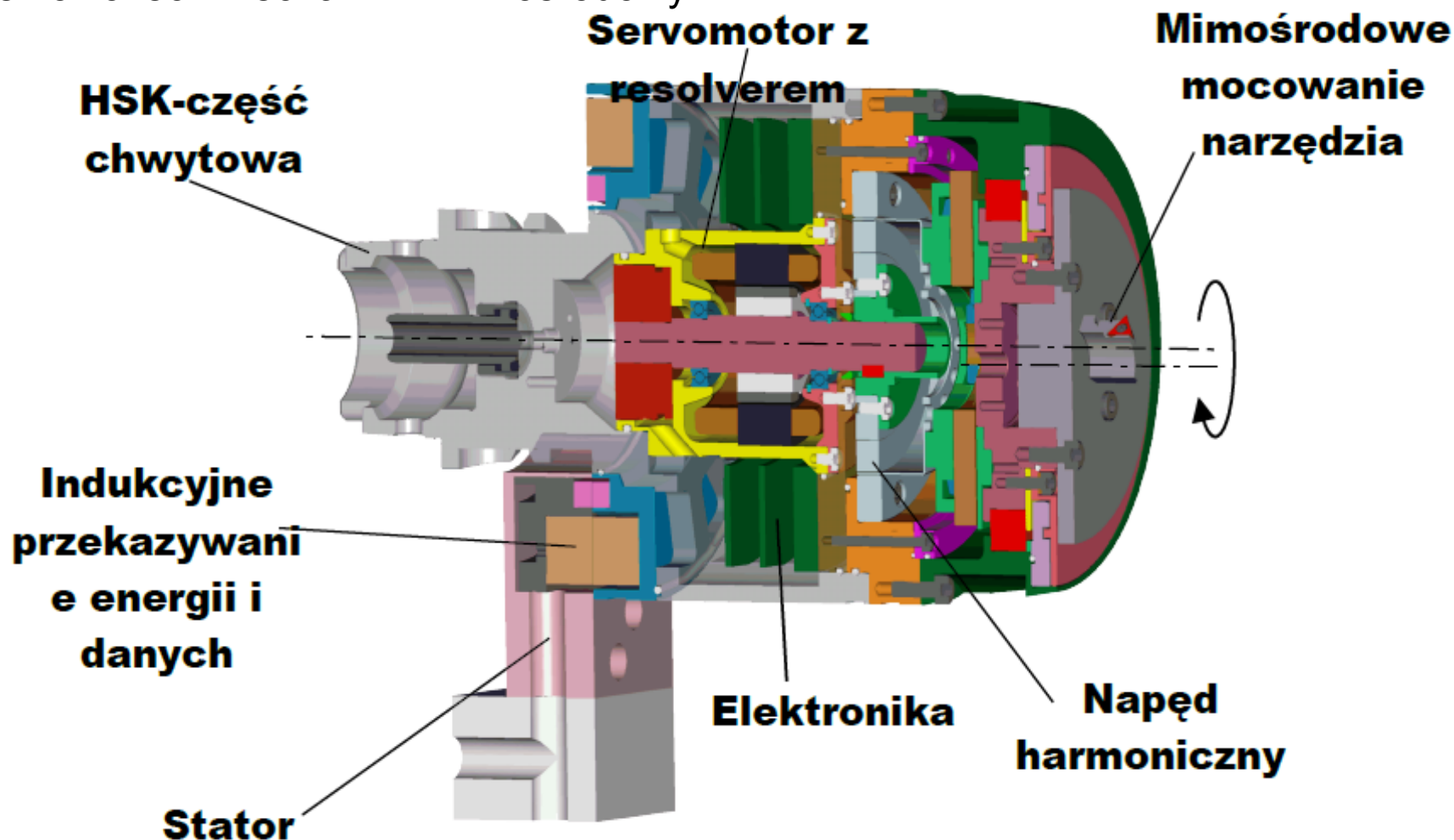
Zakres przemieszczania sanii względem pozycji środkowej, dla tego narzędzia, wynosi  11 mm. Maksymalna prędkość obrotowa, z którą głowica może poprawnie pracować, to 4000 obr/min.



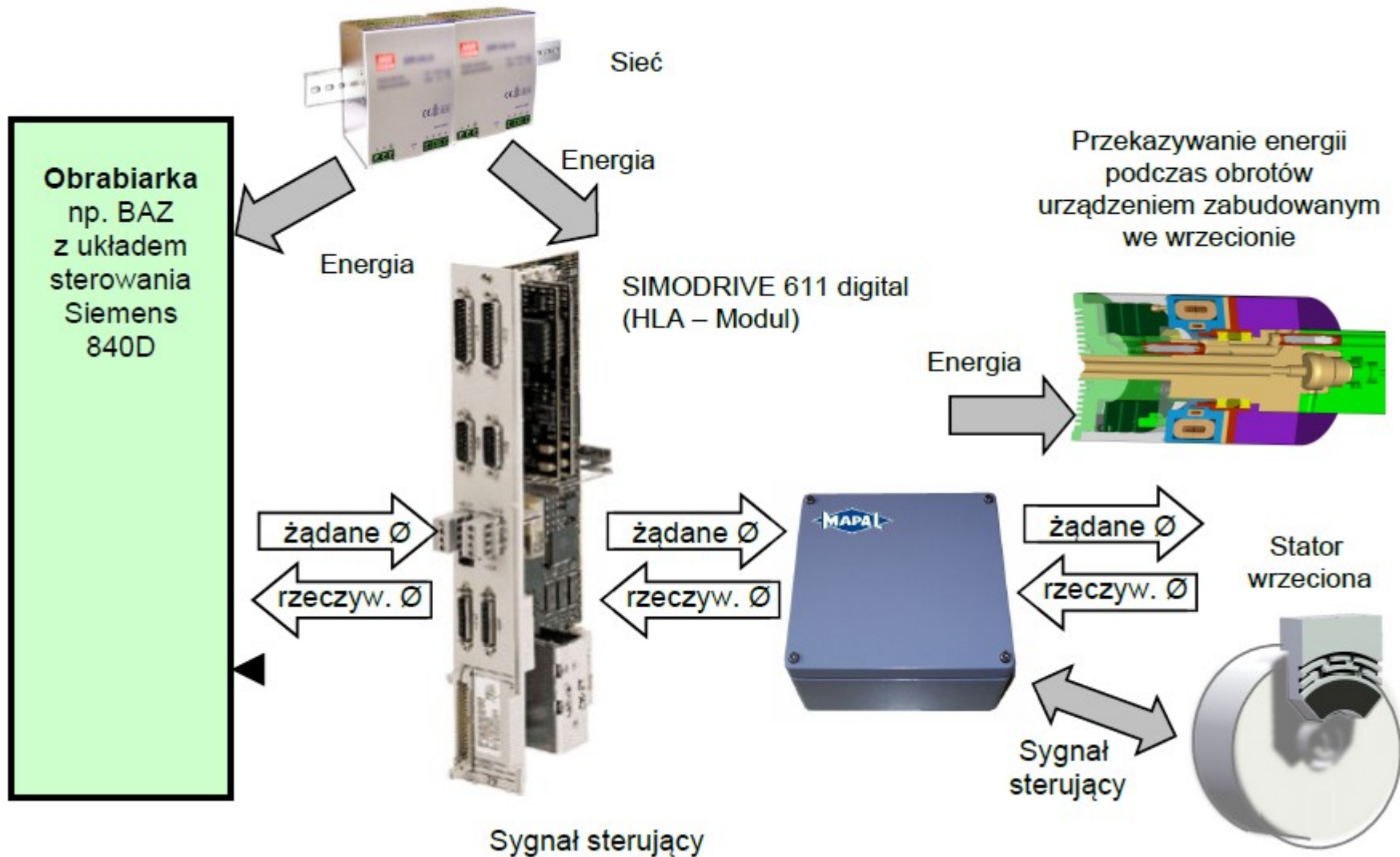
Przykład możliwości kształtowania powierzchni prostoliniową krawędzią skrawającą, która ma dodatkowy stopień ruchliwości podczas obróbki

Ma ona bezprzewodowe zasilanie w energię i bezprzewodowe sterowanie poprzez stator. Głowice te wyposażone są w znormalizowaną część chwytową z kołnierzem umożliwiającym automatyczną wymianę narzędzia.

Obrabiarka musi mieć zamocowany na korpusie obrabiarki stator, poprzez który odbywa się zasilanie i komunikacja między narzędziem a układem sterowania obrabiarki. Głowica ta do przemieszczania promieniowego ostrza wykorzystuje nie suwak przemieszczający się promieniowo lecz mechanizm mimośrodowy.



Budowa głowicy Tooltronic® (firma Mapal)

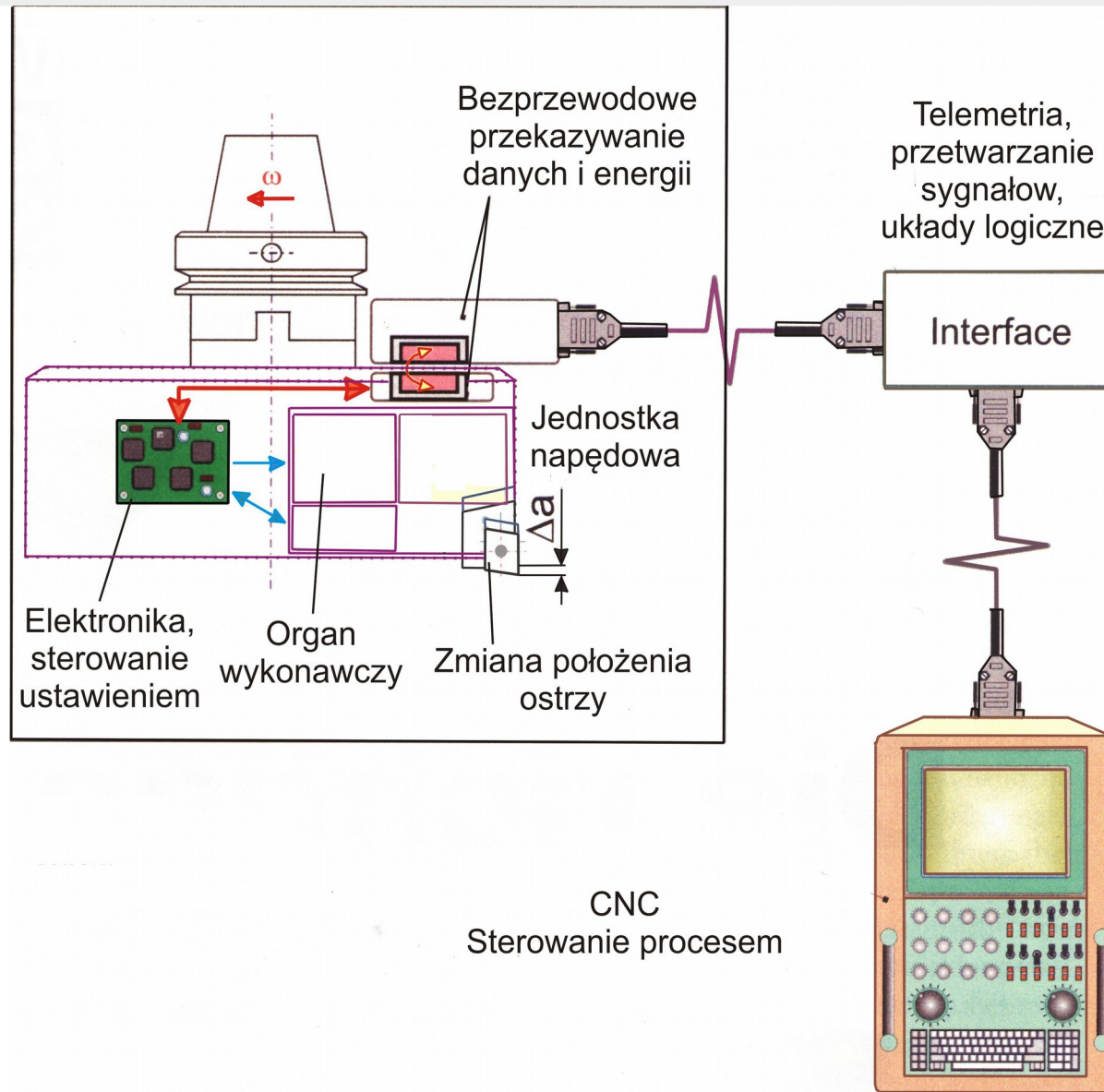


Zintegrowany system przekazywania danych i energii między obrabiarką a narzędziem mechatronicznym (Mapal)

Głowice TOLTRONIC® można także użyć do napędu i sterowania większości narzędzi sterowanych, jeśli obrabiarka nie ma możliwości realizowania niestandardowych ruchów ciągłych lub trzpieni/wrzecion obrotowych wymaganych do tego typu narzędzi.

Podejmowane były próby sterowania poszczególnymi ostrzami głowic frezowych. Na rysunku przedstawiono głowicę frezową, w której można sterować i realizować przemieszczania osiowe poszczególnymi ostrzami z dużą dynamiką.

Tego rodzaju narzędzia mechatroniczne pozwalają na nowe możliwości kształtowania frezowaniem złożonych powierzchni, a jednocześnie stawiają nowe wyzwania przed technologami programującymi tego rodzaju ścieżki/tory ruchów już nie tylko samych narzędzi, ale także jego poszczególnych ostrzy.



Schemat działania głowicy frezowej z możliwością sterowania poszczególnymi ostrzami

KONIEC