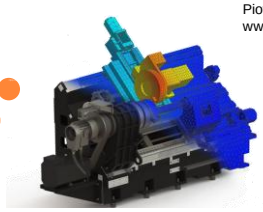
# PROJEKTOWANIE MECHATRONICZNE

**na przykładzie obrabiarek**

Dr hab. inż. Piotr Pawełko
p. 141
Piotr.Pawelko@zut.edu.pl
www.piopawelko.zut.edu.pl



## TYPIZACJA, UNIFIKACJA I NORMALIZACJA

**Typizacja konstrukcji** polega na racjonalnym zmniejszeniu różnorodności części, podzespołów i węzłów konstrukcyjnych, a najszerzej wyrobów gotowych (finalnych), do liczby wystarczającej w danych warunkach i w danym okresie czasu.
Najlepiej jest, jeśli typizacja obejmuje konstrukcje, które w wyniku praktycznego sprawdzenia okazały się najbardziej celowe i sprawne.

Właściwie pojmowana typizacja, przyczyniając się do zmniejszenia różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych, przynosi korzyści ujawniające się w skróceniu czasu projektowania, zmniejszeniu kosztów produkcji (możliwość produkcji seryjnej) i polepszeniu jakości wyrobu (sprawdzone działanie, materiały, trwałość i niezawodność).

Przykładami typizacji w dziedzinie obrabiarek są: rozwiązania konstrukcyjne węzłów łożyskowych, układy kinematyczne skrzynek przekładniowych, kształty prowadnic, liniały pomiarowe, zderzaki, wrzeciona, i in.

## TYPIZACJA, UNIFIKACJA I NORMALIZACJA

## TYPIZACJA, **UNIFIKACJA** I NORMALIZACJA

**Unifikacja** polega na konstruowaniu technicznie i ekonomicznie uzasadnionych, optymalnie zróżnicowanych zespołów i części w celu:
• szerokiego i różnorodnego ich wykorzystania do budowy wyrobów złożonych różnych typów lub odmian, różniących się:
• przeznaczeniem produkcyjnym (np. obrabiarki uniwersalne i produkcyjne),
• zakresem zastosowań (zawężenie lub rozszerzenie zadań obróbkowych)
• wielkością (np. tokarki o różnym rozstawie kłów).

W dziedzinie obrabiarek unifikacja rozwinęła się tak dalece, że stała się jedną z najbardziej efektywnych współczesnych metod konstruowania.

Zmniejszając sumaryczną liczbę zespołów i elementów nowo-konstruowanych, unifikacja — jeszcze bardziej niż typizacja — umożliwia zmniejszenie kosztów własnych produkcji, skrócenie cyklu produkcyjnego wyrobu oraz ułatwienie serwisowania.

## TYPIZACJA, **UNIFIKACJA** I NORMALIZACJA

## TYPIZACJA, UNIFIKACJA I **NORMALIZACJA**

**Normalizacja** polega na sprowadzeniu różnorodności w powtarzalnych postaciach do stanu optymalnego zróżnicowania, określonego i ustalonego jednoznacznie w drukowanych dokumentach techniczno-prawnych zwanych normami.
Normalizacja jest poparta ugruntowanymi osiągnięciami nauki, techniki i praktyki. Postanowienia norm, utwierdzając jednolite i dostatecznie długotrwałe rozwiązanie określonego problemu normalizacyjnego, powinny równocześnie uwzględniać przyszły rozwój i postęp w określonej dziedzinie.

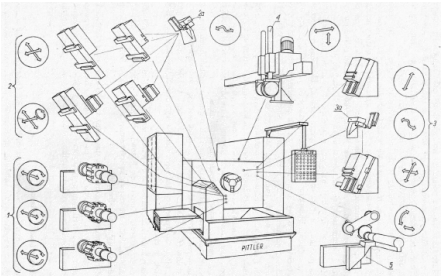
W dziedzinie konstrukcji normalizacja stawia do dyspozycji sprawdzony zbr typowych elementów, parametrów i wymagań, pozwalając konstruktorowi skoncentrować się na rozwiązywaniu zagadnień istotnych, wymagających indywidualnego opracowania ……

TYPIZACJA, UNIFIKACJA I **NORMALIZACJA**

## KONSTRUOWANIE Z UŻYCIEM ZESPOŁÓW ZUNIFIKOWANYCH

- **Metoda członowa** polega na zestawianiu zespołów lub całych maszyn i urządzeń z jednakowych członów (sekcji). Metoda ta znajduje zastosowanie m.in. w budowie różnego rodzaju przenośników w liniach obrabiarkowych, zestawianych w różnych układach i o różnych długościach.
- **Metoda stopniowania** wymiarów długości polega na tworzeniu konstrukcji zunifikowanych, różniących się wymiarami długościowymi stopniowanymi wg określonego ciągu liczbowego. Jako przykłady stosowania tej metody można wymienić stopniowanie długości łóż różnych obrabiarek (tokarek kłowych, frezarek wzdłużnych, strugarek, szlifierek i in.), wysokości stojaków, długości cylindrów hydraulicznych i pneumatycznych, szerokości wieńców kół zębatych itp.
- **Metoda konstrukcji bazowej** — punktem wyjścia do unifikacji jest konstrukcja podstawowa (bazowa), z której przez zamianę określonych zespołów lub przez uzupełnienia dodatkowymi zespołami uzyskuje się konstrukcje pokrewne o różnych cechach użytkowych, np. rozszerzenie lub zawężenie wykonywanych operacji, zmienione parametry pracy, różny stopień automatyzacji i in. Obrabiarki konstruowane wg tej metody tworzą tzw. rodzinę obrabiarek.

## KONSTRUOWANIE Z UŻYCIEM ZESPOŁÓW ZUNIFIKOWANYCH



Zespoły wymienne tokarki uchwytowej czołowej:1 - głowice rewolwerowe, *2 - suporty krzyżowe, 2a - suport kopiowy, 3 - suporty boczne prawe (poprzeczny i krzyżowy), 3a - suport boczny kopiowy, 4 - podajnik górny, 5 - podajnik boczny*

## METODA BUDOWY SKŁADANEJ

Budowa składana, określona również nazwami budowa klockowa lub **budowa modułowa**, polega na projektowaniu i składaniu obrabiarek o różnorodnych zadaniach obróbkowych z gotowych, typowych, łatwo wymiennych zespołów, stanowiących określoną część funkcjonalną w układzie obrabiarki.

## PRZYKŁAD - OBRABIARKA TRÓJOSIOWA

Zakres prac :

- Struktura kinematyczno-ruchowa
- Prowadnice liniowe
- Układy napędowe
- Układy przeniesienia napędu (przekładnie pasowe, zębate, śrubowe, sprzęgła)
- Łożyskowanie elementów maszyn
- Wrzeciona obrabiarek

## UKŁAD KONSTRUKCYJNY OBRABIARKI (UKO)

Pod nazwą **układ konstrukcyjny obrabiarki** (nazwy równoznaczne: zewnętrzna postać konstrukcyjna, budowa zewnętrzna, kompozycja zewnętrzna obrabiarki) rozumie się układ składowych zespołów obrabiarki widocznych na zewnątrz (głównie zespołów korpusowych), powiązanych funkcjonalnie pod względem geometryczno-ruchowym w całość, jaką tworzy obrabiarka.

## Układ Konstrukcyjny Obrabiarki (UKO)

Podstawowymi własnościami UKO (układu konstrukcyjnego obrabiarki), umożliwiającymi jego identyfikację wśród zbioru wielu układów, są:

- przestrzenne rozmieszczenie składowych zespołów (struktura geometryczna - SG),
- ruchy wykonywane przez zespoły robocze, zidentyfikowane ze względu na tory tych ruchów, zwroty i wartości przemieszczeń (struktura ruchowa — SR).

Projektowanie postaci konstrukcyjnej nowej obrabiarki rozpoczyna się zawsze od obmyślenia koncepcji układu konstrukcyjnego.

Proces koncypowania przebiega stopniowo, od rozpatrzenia wielu różnych wariantów UK, a następnie w wyniku analizy tych wariantów i zawężenia pola możliwych rozwiązań, do wyboru rozwiązania spełniającego najlepiej określone kryteria.

## Osie współrzędnych obrabiarek

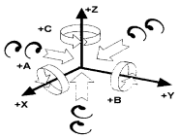
Osiami współrzędnych obrabiarki nazywamy linie proste, równolegle do których lub dokoła których poruszają się zespoły robocze obrabiarki.

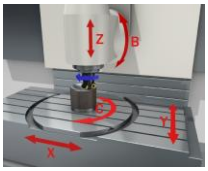
Zasady określania i oznaczania osi współrzędnych oraz zwrotów ruchów prostoliniowych i obrotowych w obrabiarkach sterowanych numerycznie są ustalone normą PN-M-55251

**PN-M-55251:1993 -** Maszyny sterowane numerycznie -- Osie współrzędnych i zwroty ruchów -- Nazwy i oznaczenia

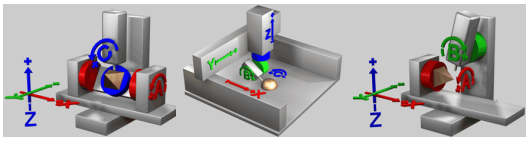
## Osie współrzędnych obrabiarek

Układ współrzędnych i zwroty ruchów. Jako podstawowy przyjmuje się prostokątny prawoskrętny układ osi współrzędnych odniesiony do przedmiotu obrabianego zamocowanego na obrabiarce.




Osie współrzędnych układu podstawowego powinny być równoległe do głównych prowadnic obrabiarki. Początek układu współrzędnych (punkt zerowy) przyjmuje się dowolnie, kierując się przede wszystkim łatwością określania położeń przemieszczanych zespołów.



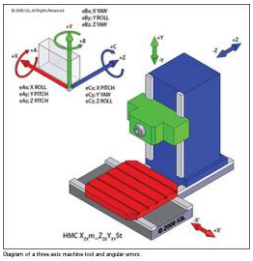
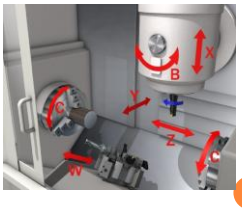
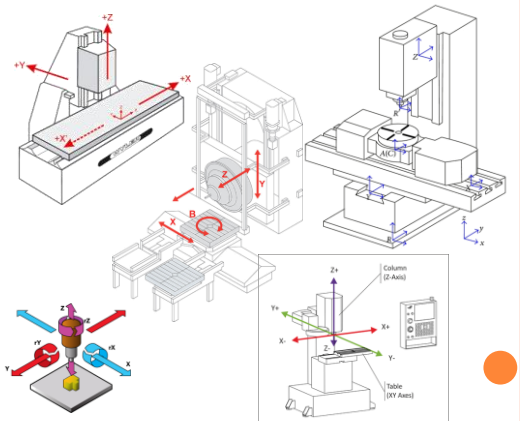


Diagram of a three-axis machine tool and angular errors.





## Osie współrzędnych obrabiarek

- Ruchy zespołów narzędziowych oznacza się dużymi literami końcowych liter alfabetu łacińskiego, odpowiednio do oznaczeń współrzędnych. Ruchy wykonywane przez zespoły przedmiotowe oznacza się odpowiednimi literami alfabetu łacińskiego ze znakiem „prim", przy czym za dodatni przyjmuje się zwrot ruchu przeciwny do zwrotu odpowiedniego ruchu oznaczonego literą bez znaku „prim" .
- Osie układu współrzędnych przyjętego za podstawowy oznacza się dużymi literami X, *Y, Z. Ruchy obrotowe dokoła osi współrzędnych układu podstawowego oznacza się odpowiednio literami A, B, C, przy czym dodatnie zwroty tych ruchów przyjmuje się zgodnie z obrotem śruby prawoskrętnej przemieszczającej się w kierunkach + X, +Y, +Z.*
- Jeżeli w obrabiarce występują jeszcze inne zespoły przemieszczające się równolegle do osi *X, Y, Z, to osie tych ruchów (zwanych ruchami drugimi) oznacza się odpowiednio literami U, V, W. Ruchy dalszych zespołów, równoległe do osi X, Y, Z (tzw. ruchy trzecie), mają odpowiednio oznaczenia P, Q, R. W przypadkach występowania ruchów prostoliniowych nierównoległych do żadnej z osi X, Y, Z ruchy te mogą być oznaczone literami U, V, W lub P, Q, R, w zależności od tego, które oznaczenia zostały już użyte.*
- Jeżeli w obrabiarce oprócz ruchów obrotowych *A, B, C występują jeszcze inne ruchy obrotowe dokoła osi równoległych lub nierównoległych do X, Y, Z, to ruchy takie oznacza się literami D i E.*

## Orientacja osi współrzędnych obrabiarek

**Podstawą do orientacji osi współrzędnych w układzie obrabiarki jest kierunek osi Z.**

- Jako naczelną zasadę przyjmuje się, że oś Z jest równoległa do osi wrzeciona głównego: narzędziowego — w takich obrabiarkach jak wiertarki, wytaczarki, gwinciarki, frezarki itp. albo przedmiotowego — w takich obrabiarkach jak tokarki, szlifierki do wałków i otworów i in. Jeżeli oś wrzeciona głównego może zmieniać swoje położenia (wrzeciono skrętne), to jedno z położeń należy przyjąć za oś Z, najlepiej prostopadłą do płaszczyzny mocowania przedmiotu na stole obrabiarki.
- W obrabiarkach nie mających wrzecion, np. strugarkach, oś Z przyjmuje się prostopadle do płaszczyzny mocowania przedmiotu.
- Za dodatni przyjmuje się taki zwrot osi Z, przy którym zwiększa się odległość między przedmiotem obrabianym a miejscem osadzenia narzędzia, np. gniazdem narzędziowym we wrzecionie lub imakiem narzędziowym. Oznacza to, że przy dodatnim zwrocie ruchu następuje przyrost wymiaru przedmiotu obrabianego.
- Jeśli to jest możliwe, oś *X powinna być położona poziomo, równolegle do płaszczyzny mocowania przedmiotu. W obrabiarkach z obracającym się przedmiotem obrabianym, np. tokarkach, szlifierkach do wałków itp., oś X jest prostopadła do kierunku przesuwu wzdłużnego- (ma kierunek promieniowy). We frezarkach oś Z jest równoległa do kierunku posuwu wzdłużnego stołu, a w strugarkach — do kierunku prędkości skrawania.*

## Struktura Geometryczno – Ruchowa (SG-R)

Struktura geometryczno-ruchowa (SG-R) określa wzajemne rozmieszczenie głównych zespołów obrabiarki oraz tory elementarnych ruchów zespołów narzędziowych i przedmiotowych, nieodzownych do spełnienia funkcji obróbkowych przez obrabiarkę.

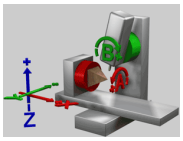
Na podstawie przyjętej SG-R powstaje koncepcja postaci konstrukcyjnej obrabiarki jako całości (kompozycja obrabiarki) oraz projekt układu kinematycznego obrabiarki.

## Struktura Geometryczno – Ruchowa (SG-R)

Istotnymi cechami SG-R obrabiarki są:
❑ liczba elementarnych ruchów (prostoliniowych i obrotowych) niezbędnych do wypełnienia zadań technologicznych obrabiarki;
❑ rozdział elementarnych ruchów między zespoły narzędziowe i przedmiotowe;
❑ położenie osi wrzeciona łub płaszczyzny ruchu głównego prostoliniowego (poziome, pionowe, skośne);
❑ sprzężenia między składowymi ruchami kształtowania, istotne dla obrabiarek do kształtowania powierzchni złożonych (obrabiarki do gwintów i uzębień, obrabiarki sterowane numerycznie z interpolacją przemieszczeń).

## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

**Zapis SG-R obrabiarki.**
Najlepszym ze względu na przejrzystość i jednoznaczność zapisem SG-R jest uproszczony rysunek zewnętrznej postaci obrabiarki, z zaznaczeniem ruchów wykonywanych przez zespoły narzędziowe i przedmiotowe. Obok rysunku obrabiarki zamieszcza się szkic zorientowanego podstawowego układu osi współrzędnych X, Y, Z.




## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

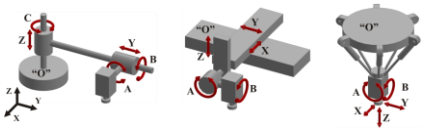
**Zapis SG-R obrabiarki.**
Inną postacią zapisu SG-R jest zapis symboliczny, umożliwiający analizowanie wariantów struktur z wykorzystaniem sformalizowanych metod algebry Boole'a. Zasady symbolicznego zapisu SG-R podał Wragow.

Symboliczny zapis SG-R składa się z dużych liter alfabetu łacińskiego oznaczających kierunki ruchów w układzie osi współrzędnych obrabiarki o symbolice zgodnej z zaleceniem ISO. Symbolem zespołów nieruchomych jest litera „O" (lub zero).
Litery oznaczające **ruchy zespołów narzędziowych** umieszcza się z **prawej strony** zera, a symbole ruchów **zespołów przedmiotowych** - z **lewej strony**

## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

**Symbol struktury geometryczno-ruchowej obrabiarki**

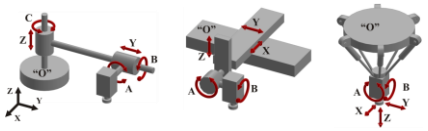
| Ruchy zespołów przedmiotowych | | Zespoły nieruchome | Ruchy zespołów narzędziowych | |
|---|---|---|---|---|
| Symbole ruchów wg ISO | | 0 | Symbole ruchów wg ISO | |
| Ruch przedmiotu | Ruchy kolejnych zespołów | Podstawa, łoże, stojak, słup itp. | Ruchy kolejnych zespołów | Ruch narzędzia |



## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

**Symbol struktury geometryczno-ruchowej obrabiarki**

| Ruchy zespołów przedmiotowych | | Zespoły nieruchome | Ruchy zespołów narzędziowych | |
|---|---|---|---|---|
| Symbole ruchów wg ISO | | 0 | Symbole ruchów wg ISO | |
| Ruch przedmiotu | Ruchy kolejnych zespołów | Podstawa, łoże, stojak, słup itp. | Ruchy kolejnych zespołów | Ruch narzędzia |



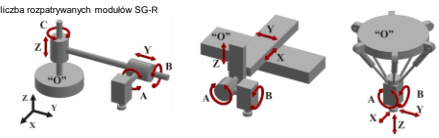

## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

W opisie podstawowego wzoru SG-R uwzględnia się oprócz modułów ruchomych także nieruchome wchodzące w skład łańcucha kinematycznego. Formalizując ogólny zapis wzoru, przyjęto następujące oznaczenia jego elementów składowych:
X – oś posuwu poprzecznego,
Y – oś posuwu wzdłużnego,
Z – oś posuwu osiowego,
A – oś obrotu względem osi równoległej do X,
B – oś obrotu względem osi równoległej do Y,
C – oś obrotu względem osi Z,
O – moduł nieruchomy.
Podstawowy wariant SG-R, dla przyjętych warunków formalnych, można zapisać np. w postaci: ABXYZO (dwa ruchy rotacyjne A i B, trzy ruchy translacyjne X, Y, Z). Przeprowadzenie permutacji (bez powtórzeń) na elementach wzoru podstawowego pozwala uzyskać pełną tablicę możliwych wariantów wzoru strukturalnego.
Działanie to można zapisać w postaci zależności:

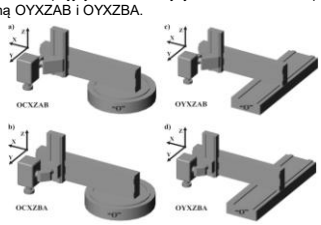
$$T_{ws} = n!$$

gdzie:

$T_{ws}$ – tablica wzorów strukturalnych,
$n$ – liczba rozpatrywanych modułów SG-R




Podstawową realizacją pierwszego wariantu koncepcyjnego SG-R o zapisie ABCXZO jest permutacja OCXZAB.
W jego strukturze pierwszym jest moduł nieruchomy O, z którym bezpośrednio połączony jest moduł obrotowy osi C. Do tego modułu zamocowane jest ramie realizujące ruchu osi X, do którego z kolei dołączono kolumnę ruchu osi Z.
Na końcu tego łańcucha umiejscowiono wrzeciono z narzędziem skrawającym.
Uzupełniając zestaw ruchów modułów (OCXZ) o dwa dodatkowe ruchy korekcyjne, realizowane przez moduły obrotowe (A i B), otrzymuje się dwa pełne warianty, czyli OCXZAB i OCXZBA .
Drugi z wariantów koncepcyjnych oznaczony, jako ABXYZO może przyjąć postać techniczną OYXZAB i OYXZBA.



## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

Wystarczy zapamiętać, że prawa strona symbolu dotyczy ruchów narzędzia, a lewa - przedmiotu obrabianego. Zapamiętanie jest bardzo łatwe, jeśli skojarzyć to z **trzymaniem narzędzia podczas pracy w prawej ręce, a przedmiotu w lewej ręce**.
Informacje zawarte w symbolu SG-R obrabiarki można rozszerzyć, wprowadzając dodatkowo następujące znaki uzupełniające:
Nad literą oznaczającą ruch główny umieszcza się znak „daszka", np. $\hat{C}$ oznacza ruch główny obrotowy wrzeciona.
Ruchy posuwowe zaznacza się przez postawienie poziomej kreski nad literą, np. $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$.

Ruchy odbywające się równocześnie zaznacza się skośną kreską oddzielającą symbole tych ruchów. Na przykład Z/C oznacza ruchy wrzeciona wysuwnego — — prostoliniowy Z i obrotowy C.

## STRUKTURA GEOMETRYCZNO – RUCHOWA (SG-R)

W celu zaznaczenia położenia osi wrzeciona wykorzystuje się odpowiednie indeksy: *h — położenie poziome, v — położenie pionowe, v/h — wrzeciono przestawne w zakresie od położenia pionowego do poziomego; v, h — wrzeciono zajmujące położenie pionowe lub poziome, s - położenie skośne (przykłady: Ch, Cv ,Cvh)*

Jeżeli to jest konieczne, do zaznaczenia ruchów podziałowych używa się indeksu *d, a do ruchów przerywanych (np. posuw przy struganiu) — indeksu p.*

Ruchy wzajemnie sprzężone zaznacza się przez umieszczenie w miejscu wykładnika potęgowego danego ruchu - symbolu ruchu sprzężonego. Na przykład *XY oznacza, że ruch X jest sprzężony z ruchem Y. W symbolu SG-R występuje wtedy także znak przeciwstawny Yx.*

## WARIANTY SGR

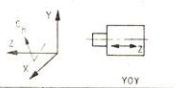
- Każdemu z symboli w zapisie SG-R odpowiada w układzie konstrukcyjnym obrabiarki określony zespół (nazywany również blokiem) — nieruchomy (symbol 0) lub ruchomy (pozostałe symbole). Porządek symboli w zapisie SG-R odpowiada rozmieszczeniu zespołów w układzie konstrukcyjnym obrabiarki.
- Ponieważ wypadkowy ruch względny zespołów pary roboczej N-PO (narzędzie — przedmiot obrabiany) nie zależy od kolejności składania ruchów elementarnych, to taki sam efekt ruchowy uzyska się, zmieniając porządek bloków w SG-R. Stosując więc formalnie permutacje symboli w zapisie SG-R, otrzymuje się zbiór wariantów struktur G-R obrabiarek zapewniających takie same ruchy względne N-PO.
- Układ konstrukcyjny obrabiarki trzywspółrzędnościowej (ruchy *X, Y, Z) z wrzecionem narzędziowym (ruch C) może być rozwiązany w 24 wariantach SG-R poziomych (ruch Ch) i w 24 wariantach SG-R pionowych (ruch Cv). Zestawiając wszystkie możliwe warianty w postaci tablic, otrzymuje się dwie macierze SG-R*

## WARIANTY SGR

- Każdemu z symboli w zapisie SG-R odpowiada w układzie konstrukcyjnym obrabiarki określony zespół (nazywany również blokiem) — nieruchomy (symbol 0) lub ruchomy (pozostałe symbole). Porządek symboli w zapisie SG-R odpowiada rozmieszczeniu zespołów w układzie konstrukcyjnym obrabiarki.
- Ponieważ wypadkowy ruch względny zespołów pary roboczej N-PO (narzędzie — przedmiot obrabiany) nie zależy od kolejności składania ruchów elementarnych, to taki sam efekt ruchowy uzyska się, zmieniając porządek bloków w SG-R. Stosując więc formalnie permutacje symboli w zapisie SG-R, otrzymuje się zbiór wariantów struktur G-R obrabiarek zapewniających takie same ruchy względne N-PO.
- Układ konstrukcyjny obrabiarki trzywspółrzędnościowej (ruchy *X, Y, Z) z wrzecionem narzędziowym (ruch C) może być rozwiązany w 24 wariantach SG-R poziomych (ruch Ch) i w 24 wariantach SG-R pionowych (ruch Cv). Zestawiając wszystkie możliwe warianty w postaci tablic, otrzymuje się dwie macierze SG-R*

## WARIANTY SGR

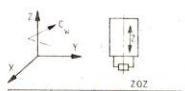
Tn = 4! = 24




YOY

| | | | |
|---|---|---|---|
| YXZO | YXOZ | YOXZ | OYXZ |
| YZXO | YZOX | YOZX | OYZX |
| ZYXO | ZYOX | ZOYX | OZYX |
| XYZO | XYOZ | XOYZ | OXYZ |
| XZYO | XZOY | XOZY | OXZY |
| ZXYO | ZXOY | ZOXY | OZXY |

YOY




ZOZ

[V]

| | | | |
|---|---|---|---|
| ZXYO | ZXOY | ZOXY | OZXY |
| ZYXO | ZYOX | ZOYX | OZYX |
| YZXO | YZOX | YOZX | OYZX |
| XZYO | XZOY | XOZY | OXZY |
| XYZO | XYOZ | XOYZ | OXYZ |
| YZXO | YZOX | YOZX | OYZX |

ZOZ

**Warianty struktur G-R obrabiarek trójosiowych zestawione w postaci tablic macierzowych: *[H] — macierz SG-R obrabiarek poziomych, [V] — macierz SG-R obrabiarek pionowych***