

Mieczysław Susel
Krzysztof Makowski

Grafika inżynierska z zastosowaniem programu AutoCAD



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2005

Recenzent
Wiktor STEFURAK

Opracowanie redakcyjne
Alina KACZAK

Projekt okładki
Wojciech SUSEŁ

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

ISBN 83-7085-910-0

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 840/2005.

Spis treści

Przedmowa	5
Wprowadzenie	7
Rozdział 1. Rodzaj i zastosowanie zapisu graficznego	9
Rozdział 2. Wybrane zagadnienia z geometrii wykreślnej	11
2.1. Układ rzutów – rzutnie i sposoby odwzorowania	11
2.2. Odwzorowanie elementów geometrycznych	15
2.2.1. Rzutowanie punktów	15
2.2.2. Rzutowanie odcinków i prostych	16
2.2.3. Rzutowanie płaszczyzn i elementów płaskich	18
2.2.4. Przycinanie się płaszczyzn – krawędzie płaszczyzn	22
2.2.5. Odwzorowanie płaszczyzn i prostych	24
2.3. Rzutowanie brył geometrycznych	26
2.3.1. Rzutowanie brył płaskościennych	26
2.3.2. Rzutowanie brył obrotowych	28
2.4. Operacje na bryłach geometrycznych	30
2.4.1. Przekroje brył płaskościennych i ich rozwinięcie	30
2.4.2. Punkty przebicia brył prostymi	32
2.4.3. Przekroje brył obrotowych i ich rozwinięcie	33
2.5. Obroty i kłady	36
2.6. Przenikanie brył	37
2.6.1. Przenikanie brył płaskościennych	38
2.6.2. Przenikanie brył obrotowych	40
2.6.3. Przenikanie brył obrotowych z płaskościennymi	43
Rozdział 3. Elementy zapisu graficznego konstrukcji	47
3.1. Formaty arkuszy rysunkowych	47
3.2. Linie rysunkowe	48
3.3. Pismo techniczne	51
3.4. Podziałki rysunkowe	51
Rozdział 4. Rzutowanie prostokątne	53
4.1. Układ rzutów europejskich (E)	54
4.2. Układ rzutów amerykańskich (A)	59
Rozdział 5. Widoki i przekroje	61
5.1. Widoki	61

5.2. Przekroje	63
5.3. Oznaczanie i kreskowanie przekrojów	64
5.4. Kłady	72
Rozdział 6. Zapis kształtu i wymiarów	75
6.1. Zasady ogólne i podstawowe elementy wymiarowania	75
6.2. Tolerowanie wymiarów, zasady i przykłady zastosowania	84
6.3. Zasady pasowania	87
6.4. Tolerowanie kształtu i położenia	90
6.5. Określenie stanu powierzchni	92
Rozdział 7. Zapis graficzny połączeń w konstrukcjach	97
7.1. Połączenia nierozłączne	97
7.1.1. Połączenia spawane	97
7.1.2. Połączenia zgrzewane	102
7.1.3. Połączenia lutowane i klejone	104
7.1.4. Połączenia nitowane	104
7.2. Połączenia rozłączne	107
7.2.1. Połączenia gwintowe	107
7.2.2. Połączenia wielowypustowe i wielokarbowe	112
7.2.3. Połączenia wpustowe, klinowe i kołkowe	114
Rozdział 8. Zapis graficzny elementów konstrukcji	119
8.1. Przekładnie i koła zębate	119
8.2. Łożyskowania i uszczelnienia	124
8.3. Sprężyny i elementy sprężyste	127
Rozdział 9. Rodzaje rysunków konstrukcyjnych	131
9.1. Rysunki złożeniowe	131
9.2. Rysunki zespołowe	136
9.3. Rysunki wykonawcze	138
Rozdział 10. Komputerowy zapis graficzny w środowisku AutoCAD	141
10.1. Tworzenie rysunku – wybór formatu i układu współrzędnych	141
10.2. Podstawowe narzędzia rysunkowe	143
10.3. Podstawowe obiekty rysunkowe	143
10.4. Modyfikacja obiektów rysunkowych	147
10.5. Identyfikacja obiektów	150
10.6. Rysowanie precyzyjne	151
10.7. Warstwy	152
10.8. Kreskowanie przekrojów	153
10.9. Wymiarowanie	153
10.10. Tworzenie bloków	154
10.11. Zapis na dysku i drukowanie rysunku	155
Literatura	157

Przedmowa

Współczesne działania inżynierskie wymagają posługiwania się grafiką komputerową, która ma coraz powszechniejsze zastosowanie we wszystkich dziedzinach techniki. Aby sprostać tym wymaganiom, konieczne staje się wprowadzenie zmian w procesie kształcenia.

Zmiany programowe kursów prowadzonych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej, w zakresie treści i formy związane z przystosowaniem do istniejących potrzeb, spowodowały konieczność uzupełnienia pomocy dydaktycznych z grafiki inżynierskiej. Wprowadzone obecnie zmiany w programie kursów na studiach dziennych i zaocznych dotyczą przede wszystkim praktycznych ćwiczeń rysunkowych. Zamiast tradycyjnych ćwiczeń rysunkowych polegających na odręcznym wykonywaniu rysunków wprowadzono laboratorium komputerowej grafiki inżynierskiej z zastosowaniem programu AutoCAD. Uzupełnieniem natomiast zajęć laboratoryjnych są prace domowe polegające na odręcznym szkicowaniu modeli i detali, stanowiące przygotowanie do komputerowego wykonywania rysunków w laboratorium.

Niniejsze opracowanie stanowi nowe ukierunkowanie i rozszerzenie dotychczasowych podręczników i skryptów z grafiki inżynierskiej i graficznego zapisu konstrukcji [2, 3, 5]. Obecne rozszerzenie obejmuje przede wszystkim zastosowanie komputerowej grafiki inżynierskiej w tworzeniu graficznego zapisu konstrukcji, które opracowano w formie pomocy dydaktycznej dla studentów. W poprzednich wydaniach podręcznika stosowano rzutowanie dimetryczne, w niniejszym wydaniu natomiast do ilustracji rysunkowych zastosowano rzutowanie izometryczne. Za wprowadzeniem tej zmiany przemawiają możliwości i ułatwienia wynikające z zastosowania narzędzi rysunkowych i trybu izometrycznego programu AutoCAD.

Pomoc dydaktyczną do nowo wprowadzonych zajęć laboratoryjnych stanowi również wydany wcześniej w formie zbioru zadań skrypt pt. *Komputerowa grafika inżynierska* [3].

Treść opracowanego podręcznika dostosowano do programów zajęć dla studentów Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej w ramach przedmiotów podstawowych *grafika inżynierska*, *graficzny zapis konstrukcji* oraz *geometria i grafika inżynierska* na studiach dziennych i zaocznych.

Podręcznik może być istotną pomocą w opanowaniu podstawowej wiedzy w zakresie grafiki inżynierskiej zarówno w samokształceniu, jak i w poszerzaniu i uzupełnianiu wiadomości przekazywanych na kursach uczelnianych.

Autorzy

Wprowadzenie

Podręcznik zawiera materiał teoretyczny obejmujący 10 rozdziałów. Pierwsza część, obejmująca rozdziały 1 i 2, zawiera ogólne wiadomości dotyczące graficznego zapisu konstrukcji oraz wybranych zagadnień z geometrii wykreślnej jako wprowadzenie do grafiki inżynierskiej. Ze względu na różny poziom wiedzy studentów pierwszego roku z geometrii wykreślnej materiał zawarty w rozdziale 2 obejmuje podstawowe zasady odwzorowań elementów geometrycznych, rzutowanie brył oraz operacje na bryłach, takie jak przekroje, obroty, kłady i przenikania. Przedstawiony w tym rozdziale materiał jest przydatny zarówno dla studentów spotykających się po raz pierwszy z zagadnieniami rzutowania, jak i znających podstawy przedmiotu w celu poszerzenia i utrwalenia wiadomości nabytych wcześniej.

Znormalizowane zasady graficznego zapisu konstrukcji dotyczące stosowania formatów rysunkowych, rodzajów linii i pisma technicznego przedstawiono w rozdziale 3.

Omówiono dwa najczęściej stosowane układy rzutowania prostokątnego, tj. układu rzutów europejskich i amerykańskich, stanowiących podstawę płaskiego odwzorowania obiektów przestrzennych (rozdz. 4).

Informacje na temat odwzorowania obiektów za pomocą widoków zewnętrznych (całkowitych, obróconych i częściowych) oraz przekrojów prostych i złożonych, kładów widoków i przekrojów oraz sposoby oznaczania widoków i przekrojów zawiera rozdział 5.

W rozdziale 6 omówiono zasady wymiarowania przedmiotów przedstawianych za pomocą rzutów prostokątnych, zasady tolerowania wymiarów, sposoby tolerowania kształtu i położenia oraz oznaczania stanu powierzchni zilustrowane przykładami.

Graficzne przedstawienie typowych połączeń stosowanych w konstrukcjach obejmujących połączenia nierozłączne (spawane, lutowane, zgrzewane i klejone) oraz połączenia rozłączne (gwintowe, wpustowe, wielowypustowe, klinowe i kołkowe) zawiera rozdział 7.

Przedstawiono sposoby graficznego odwzorowania ważniejszych elementów i zespołów maszynowych obejmujące przekładnie i koła zębate, łożyskowania oraz elementy sprężyste (rozdz. 8).

W rozdziale 9 omówiono rodzaje rysunków tworzących dokumentację konstrukcyjną oraz zasady tworzenia rysunków wykonawczych, zespołowych i złożeniowych zilustrowane przykładami.

Rozdział 10 dotyczy komputerowego zapisu graficznego konstrukcji w środowisku programu AutoCAD 2002 LT. Przedstawiono w krótkiej formie opis okna głównego programu i podstawowych narzędzi rysunkowych, sposoby uruchamiania poleceń, określenie formatu i parametrów rysunku. W rozdziale tym zawarto instrukcje dotyczące rysowania podstawowych obiektów rysunkowych oraz ich modyfikacji. Omówiono również sposoby precyzyjnego rysowania z zastosowaniem podstawowych narzędzi (skok, siatka, tryb orto) oraz trybów lokalizacji obiektu, sposób tworzenia bloków i pracy za pomocą warstw oraz zapisu rysunku na dysku w postaci plików *.dwg lub *.wmf i przygotowanie rysunku do wydruku na papierze.

Rozdział 1

Rodzaj i zastosowanie zapisu graficznego

Źródłem wszelkiej działalności człowieka jest zaspokajanie potrzeb materialnych i niematerialnych, przy czym w zaspokajaniu potrzeb materialnych zasadniczą rolę odgrywają działania techniczne, które ogólnie można określić jako proces uzyskiwania i przekazywania informacji według schematu:

NADAWCA $\Rightarrow$ INFORMACJA $\Rightarrow$ ODBIORCA

Nadawcą może być projektant lub konstruktor, informacją – zapis konstrukcji, a odbiorcą – wykonawca. Istotnym ogniwem tego łańcucha jest zapis konstrukcji jako informacja.

Zapis jako sposób przekazu informacji jest znany i stosowany od dawna w różnych dziedzinach działalności człowieka, podlega ciągłym zmianom aby sprostać coraz to nowym celom i zadaniom. Znane są różne rodzaje zapisu konstrukcji, starsze, jak np. zapis słowny (tekstowy) – obecnie niestosowany, czy fotograficzno-rysunkowy, które zostały zastąpione przez zapis graficzny. Ponieważ większość odbiorców przekazywanych informacji graficznych skuteczniej odbiera i rejestruje informacje wzrokowe niż słuchowe, zatem ten sposób odbioru informacji daje większe możliwości ich analizy, oceny i zmian. Przedstawiony uproszczony łańcuch działań technicznych w ujęciu bardziej szczegółowym zawiera następujące elementy:

- *projektowanie – konstruowanie* (uzyskiwanie obiektów nierzeczywistych – utworów),
 - *graficzny zapis konstrukcji*,
 - *wytwarzanie* (uzyskanie obiektów rzeczywistych – wytworów),
 - *eksploatacja* (użytkowanie obiektów rzeczywistych – zaspokajanie potrzeb),
- Zapis graficzny realizuje się przez rysunki projektowe i konstrukcyjne.*

Rysunki projektowe stanowią zapis graficzny koncepcji obiektu w całości lub tylko jego części, mogą występować w kilku wersjach i są podstawą do analizy rozwiązań oraz wyboru wersji optymalnej.

Rysunki konstrukcyjne są szczegółowym zapisem graficznym postaci konstrukcyjnej i stanowią podstawę do procesu wytwarzania obiektu.

Zapis graficzny jest tworzony z zastosowaniem znaków i symboli znormalizowanych według zasad i reguł rzutowania.

Ze wzrostem wymagań dotyczących szybkości tworzenia oraz możliwości rejestrowania i zapamiętywania obrazu graficznego, nową jakość procesu projektowo-konstrukcyjnego stwarza komputerowy zapis graficzny – coraz bardziej rozwijany i doskonały, którego rozwój możliwy był dzięki rozwojowi sprzętu i oprogramowania komputerowego. Powstała nowa dziedzina: *Komputerowe Wspomaganie Projektowania*, z angielskiego znana jako CAD (*Computer Aided Design*) polegająca na doborze cech konstrukcyjnych tworzonych obiektów (geometrycznych i materiałowych) oraz zapisie tych cech, czyli opracowaniu dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej.

Proces wspomagania komputerowego został zapoczątkowany w latach 60. w USA wraz z rozwojem systemów grafiki komputerowej. Dalszy szybki postęp w tej dziedzinie, umożliwił opanowanie procesu utrwalania obrazu z komputera na papierze przez rozwój urządzeń automatycznego kreślenia (plotery, drukarki) oraz rozwój mikrokomputerów i monitorów z własną pamięcią. Dzięki nowym systemom komputerowego wspomagania projektowania (CAD), opartych na metodach modelowania bryłowego (3D), można szybciej i dokładniej sporządzać zapis graficzny nawet bardzo złożonych obiektów.

Zapis graficzny konstrukcji powinien być zgodny z *zasadą jednoznaczności* i *zasadą zupełności*.

Zasada jednoznaczności mówi, że każdy graficzny zapis konstrukcji powinien być wykonany za pomocą *jednoznacznych znaków i symboli*, w jednoznacznym celu zastosowanych.

Zasada zupełności stwierdza, że graficzny zapis konstrukcji powinien być *zupełny* ze względu na swoje przeznaczenie, czyli powinien zawierać wszystkie *konieczne* i *wystarczające* informacje.

Rozwój i szybki postęp techniczny w różnych dziedzinach gospodarki powoduje wzrost wymagań i konieczność zróżnicowania graficznego zapisu konstrukcji w poszczególnych branżach technicznych. Aby zasady i przepisy w różnych branżach technicznych ujednolicić stworzono przepisy i normy krajowe oraz międzynarodowe, obowiązujące w różnych krajach, które ułatwiają współpracę.

Normalizacja obejmuje w ogólnym zarysie ustalanie wymiarów, kształtów i rodzaju zastosowanego materiału (tworzywa) i odbioru technicznego wytwarzanych obiektów.

Unifikacja wprowadza zastosowanie w wielu konstrukcjach jednakowych elementów (części) czy zespołów, przedstawionych najczęściej w formie zaleceń niż obowiązku realizowania.

Wprowadzanie na szeroką skalę normalizacji oraz unifikacji prowadzi do zmniejszenia kosztów ogólnych wytwarzania (produkcji) maszyn i urządzeń.

Wprowadzenie komputerowego graficznego zapisu konstrukcji (komputerowej grafiki inżynierskiej) do programu kształcenia inżynierskiego staje się warunkiem koniecznym do opanowania umiejętności posługiwania się nowoczesnym narzędziem graficznym inżyniera.

Rozdział 2

Wybrane zagadnienia z geometrii wykreślnej

Przedmiotem geometrii wykreślnej są metody rzutów, za pomocą których przedstawia się (odwzorowuje) obiekty płaskie (figury geometryczne) oraz obiekty przestrzenne (bryły geometryczne) na obraz płaski. W istocie proces odwzorowania jest tworzeniem rzutów, czyli przedstawianiem obiektów na płaszczyznach odniesienia – rzutniach wykonanych jedną z przyjętych metod rzutowania.

Ze względu na ograniczenia treści skryptu wynikające z programu kursu, zagadnienia z zakresu geometrii wykreślnej zawarte w niniejszym opracowaniu mają charakter skrócony. Ograniczono je do wybranych tematów bezpośrednio związanych z rzutowaniem obiektów geometrycznych.

2.1. Układ rzutów – rzutnie i sposoby odwzorowania

Projektowane obiekty rzeczywiste mają różne kształty i wymiary oraz mogą być dowolnie położone w przestrzeni. Odwzorowanie tych obiektów na arkuszu rysunku lub ekranie monitora wiąże się z odwzorowaniem ich kształtów. Liczba koniecznych do wykonania rzutów wynika z tego czy obiekt jest płaski – dwuwymiarowy (2D) czy przestrzenny – trójwymiarowy (3D).

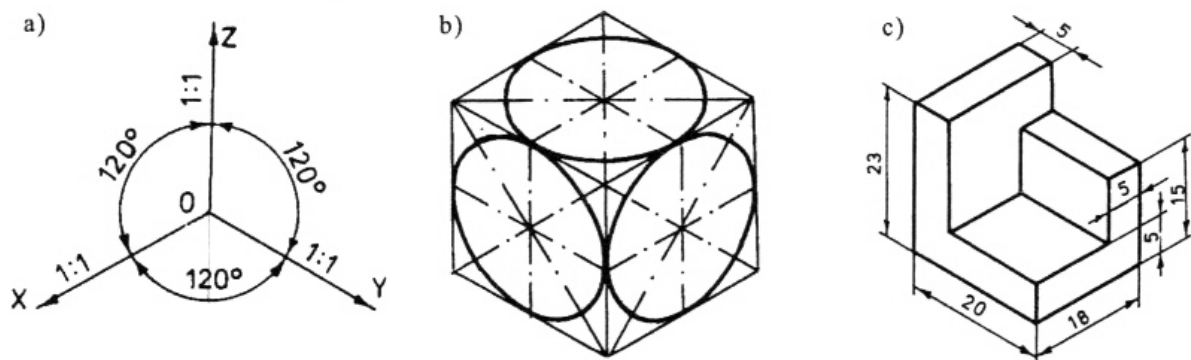
Obiekty dwuwymiarowe są proste w odwzorowaniu na płaszczyźnie rysunku, ponieważ płaszczyzna odwzorowania – rzutnia (arkusz papieru lub ekran monitora) jest dwuwymiarowa.

Obiekty przestrzenne (3D) mają trzeci wymiar i ich odwzorowanie jest trudniejsze, ponieważ określenie pełnego kształtu bryły wymaga zastosowania odwzorowań na dwie lub więcej płaszczyzn odniesienia.

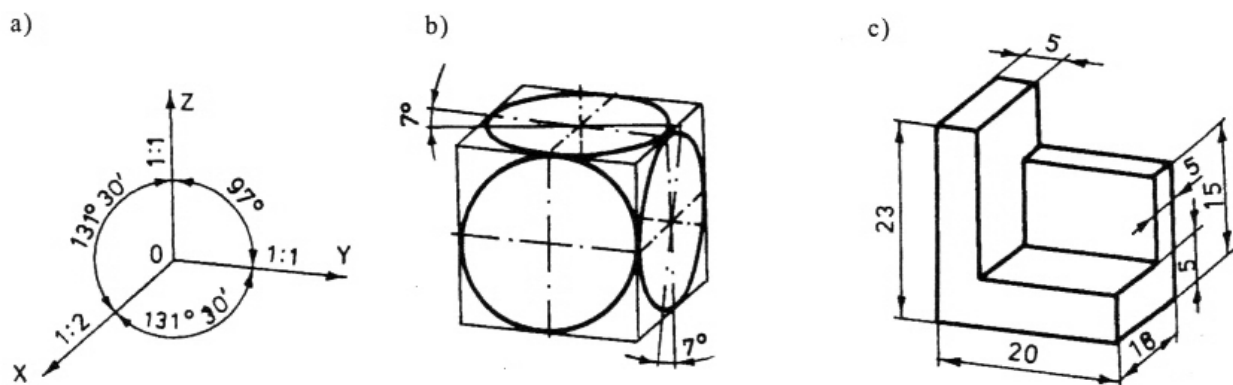
W geometrii wykreślnej stosuje się różne sposoby rzutowania. Najczęściej stosowane są dwie metody rzutowania, tj. *rzutowanie aksonometryczne* i *rzutowanie prostokątne*.

Rzutowanie aksonometryczne jest to odwzorowanie obiektu tylko na jednej płaszczyźnie. Rozróżnia się następujące rodzaje rzutu aksonometrycznego [1]:

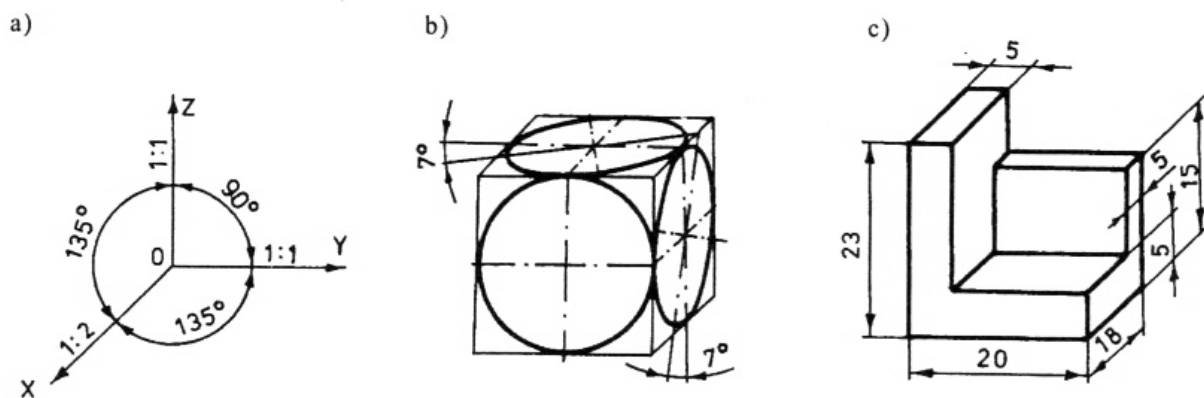
- izometria (rys. 2.1),
- dimetria prostokątna (rys. 2.2),
- dimetria ukośna (rys. 2.3).



Rys. 2.1. Układ izometryczny (a), rzuty okręgów (b), odwzorowanie bryły (c)



Rys. 2.2. Układ dimetryczny prostokątny (a), rzuty okręgów (b), odwzorowanie bryły (c)



Rys. 2.3. Układ dimetryczny ukośny (a), rzuty okręgów (b), odwzorowanie bryły (c)

W każdym rzucie aksonometrycznym stosuje się układ trzech osi o różnych kątach między nimi oraz różnych skrótach wymiarowych zgodnych z kierunkami tych osi. Skróty te wyrażone są stosunkiem wymiarów liniowych na rysunku do wymiarów rzeczywistych przedstawianego obiektu, przy czym stosunki te odnoszą się do elementów geometrycznych, takich jak odcinki, boki, krawędzie figur płaskich i obiektów przestrzennych, które są usytuowane równoległe do danej osi układu – w przeciwnym razie będą zmienione wymiarowo.

Ze względu na możliwości wykorzystania programu AutoCAD do wykonywania rysunków w izometrii (tryb IZO) zagadnienie rzutowania aksonometrycznego ograniczono w niniejszym skrypcie do rzutowania izometrycznego.

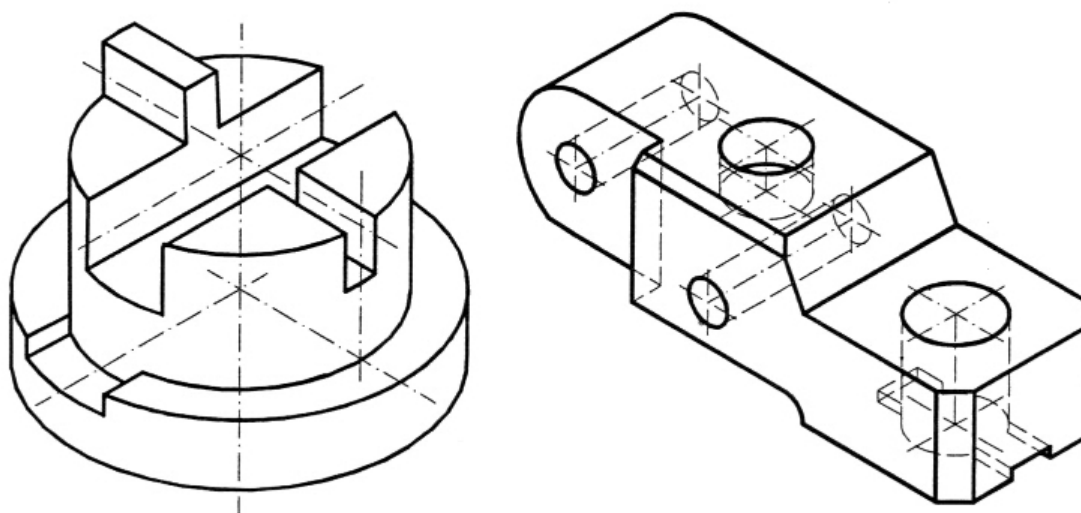
W izometrii (rys. 2.1), układ rzeczywisty trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyzn w przestrzeni przecinających się w jednym punkcie O zwanym początkiem układu, odwzorowuje się jako układ trzech osi (X, Y, Z) nachlonych względem siebie o 120° , przy czym skróty wszystkich obiektów, których krawędzie są równoległe do osi tego układu są identyczne i wynoszą 1:1. Podstawowe narzędzia AutoCADa dostępne w trybie izometrycznym (siatka, skok i orto) pozwalają na sprawne rysowanie prostopadłych krawędzi obiektów rzeczywistych, które w izometrii rysuje się równoległe do osi układu, tzn. nachylone pod kątem 120° (rozdz.10).

Przykłady odwzorowań brył geometrycznych w izometrii przedstawiono na rysunkach 2.4–5 i 2.6–7.

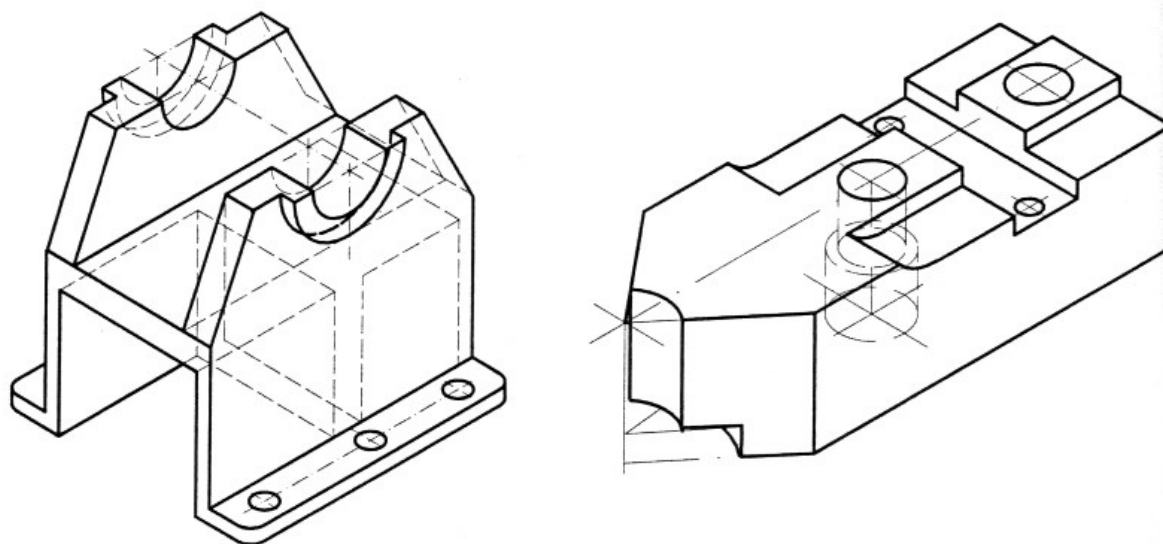
Drugim zasadniczym rodzajem rzutowania jest już wspomniane *rzutowanie prostokątne*.

W rzutowaniu tym podstawowym układem odniesienia jest układ trzech wzajemnie prostopadłych i przecinających się płaszczyzn (rzutni), tworzących trzy osie układu (x, y, z) oraz rzutnie: poziomą (1), pionową (2) i boczną (3) (rys. 2.8).

Obiekty geometryczne, np. prosta, wielobok, płaszczyzna, bryła mogą dowolnie leżeć w jednym z ośmiu podobszarów przestrzeni utworzonych z trzech wzajemnie przecinających się płaszczyzn układu odniesienia. W większości przypadków dla ułatwienia rzutowania położenie obiektów ogranicza się do podobszaru pierwszego wyróżnionego linią grubą (obszar I na rys. 2.8). Ustalenie położenia danego obiektu w tym obszarze powoduje określenie jego położenia względem wszystkich trzech płaszczyzn układu (rzutni). Należy jednak dążyć do przyjęcia położenia tzw. szczególnych, a nie dowol-

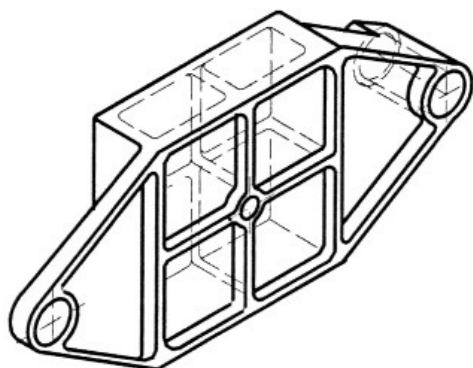


Rys. 2.4–5. Odwzorowanie detali w izometrii

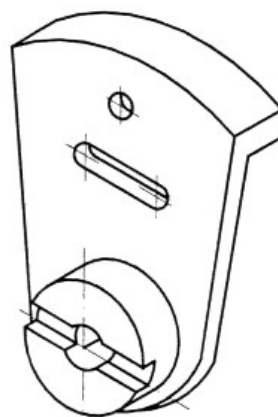


Rys. 2.6–7. Odwzorowanie detali w izometrii

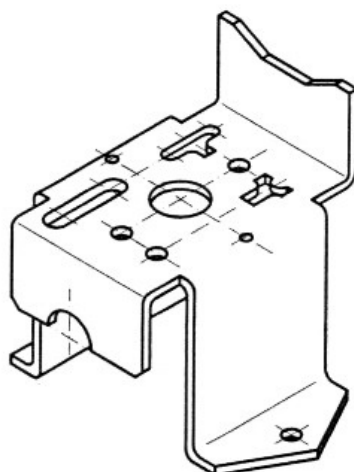
a)



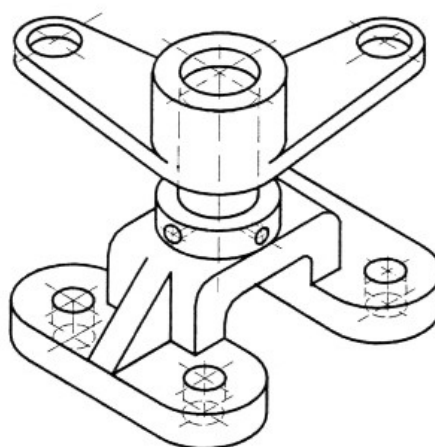
b)



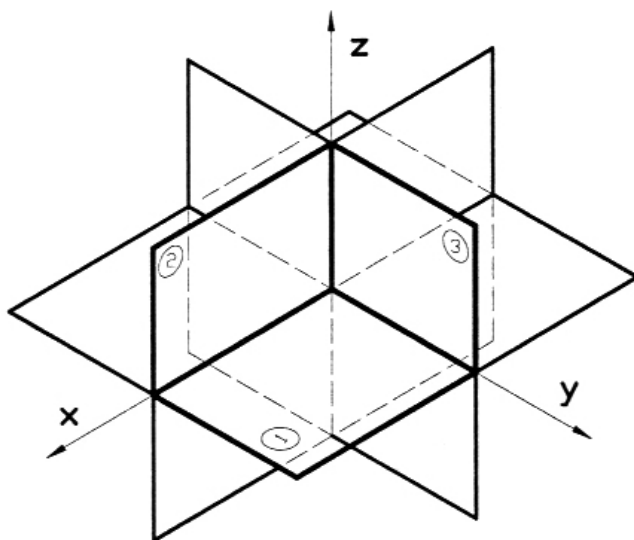
c)



d)



Rys. 2.7. Odwzorowanie detali w izometrii



Rys. 2.8. Układ odniesienia rzutów prostokątnych

nych, tzn. takich, w których większość lub wszystkie elementy obiektu (krawędzie lub płaszczyzny) nie są dowolnie nachylone, lecz są np. równoległe lub prostopadłe do płaszczyzn odniesienia (rzutni układu). Takie szczególne położenie obiektu względem układu odniesienia znacznie upraszcza rzutowanie, ponieważ rzuty elementów obiektu są równe wymiarowo i kształtowo odpowiednim elementom obiektu rzeczywistego (rysowane są bez zniekształcenia).

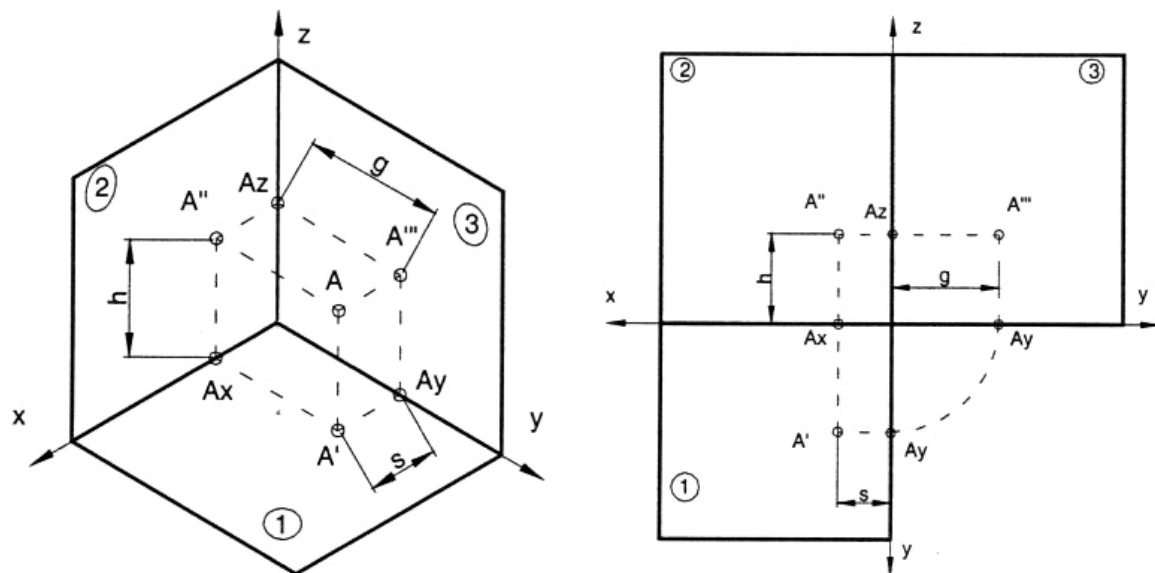
W niniejszym opracowaniu korzystamy z możliwości programu AutoCAD do tworzenia rysunków aksonometrycznych. Powszechnie stosowana jest metoda rzutowania izometrycznego zamiast dimetrii stosowanej w poprzednich opracowaniach [2, 3].

2.2. Odwzorowanie elementów geometrycznych

2.2.1. Rzutowanie punktów

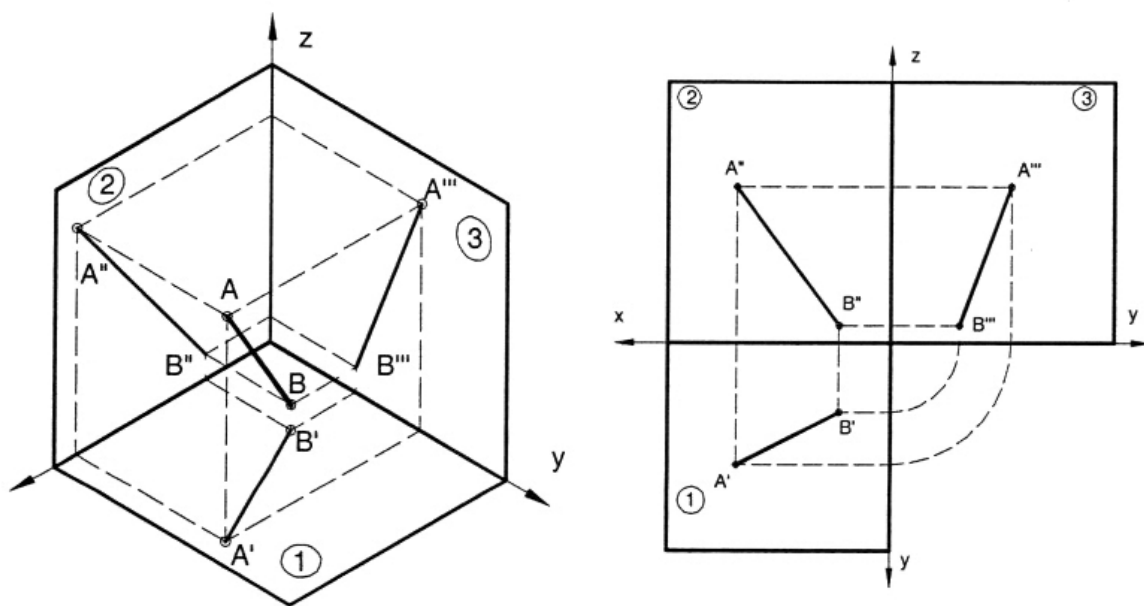
Na rysunku 2.9 przedstawiono punkt A położony w obszarze I układu odniesienia oraz jego rzuty prostokątne na trzy rzutnie: poziomą – A' , pionową – A'' , boczną – A''' , których położenie określają trzy wymiary: wysokość h , szerokość s i głębokość g .

Rzuty prostokątne dowolnego punktu wyznacza się prowadząc przez dany punkt proste rzutujące, prostopadłe do każdej rzutni, wyznaczając poszczególne punkty przebiecia tych prostych z rzutniami 1, 2, 3. W celu przedstawienia rzutów prostokątnych na jednej płaszczyźnie stosuje się rozwinięcie układu rzeczywistego rzutni dokonując obrotów płaszczyzn rzutni poziomej 1 wokół osi x o 90° w dół oraz rzutni bocznej 3 wokół osi z o 90° w prawo jak przedstawiono na rysunku 2.9.

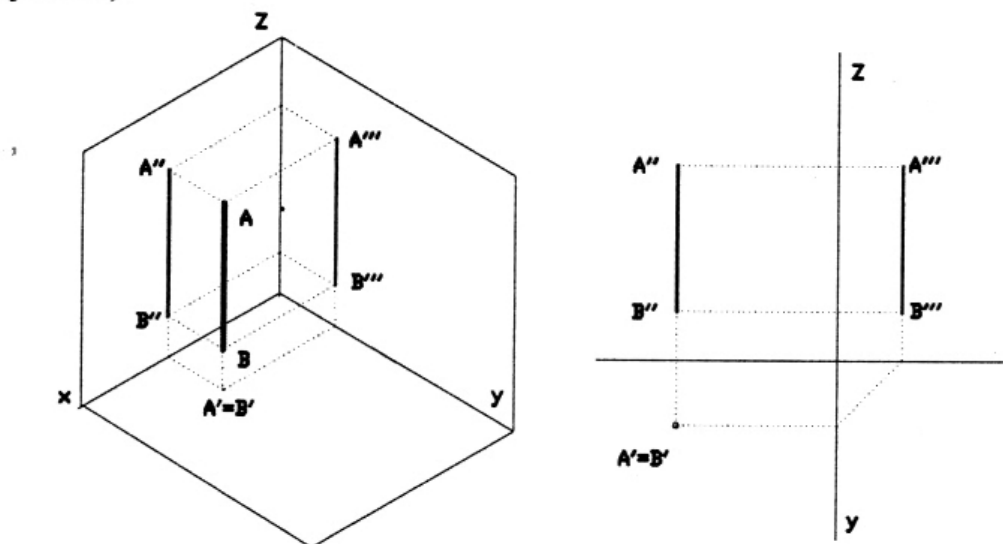
Rys. 2.9. Rzuty prostokątne punktu A

2.2.2. Rzutowanie odcinków i prostych

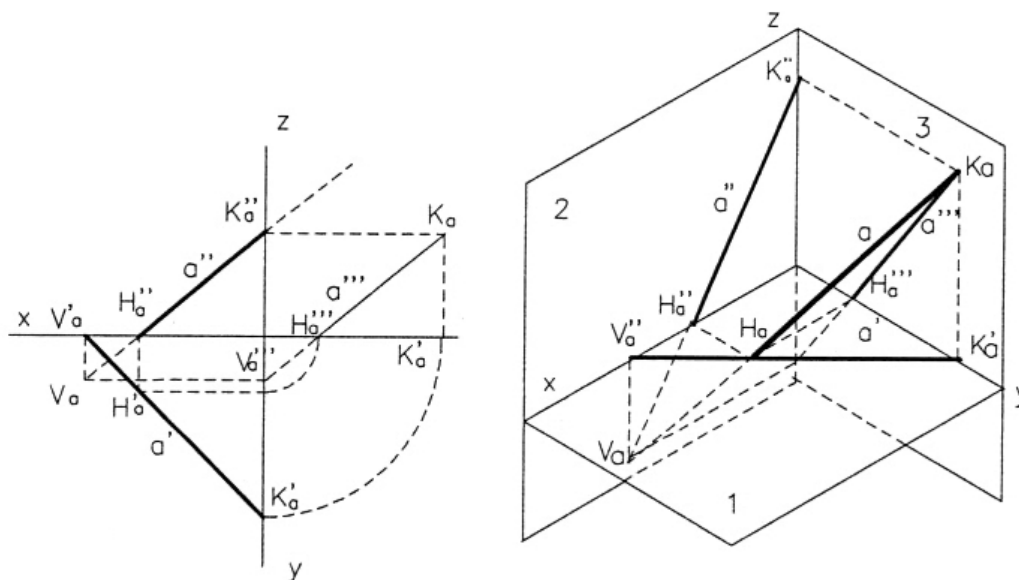
Na rysunku 2.10 przedstawiono odcinek AB w jego dowolnym położeniu względem rzutni, tzn. odcinek AB nie jest ani równoległy, ani prostopadły do którejkolwiek z trzech rzutni. Aby wyznaczyć rzuty odcinka AB , należy najpierw wyznaczyć rzuty obu jego końców, a następnie połączyć je prostą. Określamy położenie odcinka, następnie wyznaczamy odległość obu końców odcinka od poszczególnych rzutni, czyli szerokość s , głębokość g i wysokość h punktów A i B .

Rys. 2.10. Rzuty prostokątne odcinka AB

Jeżeli odcinek AB zajmuje szczególne położenie względem rzutni, np. jest prostopadły do rzutni 1 (rys. 2.10a), to rzutowanie odcinka upraszcza się, ponieważ rzut odcinka prostopadłego do danej rzutni jest punktem (rzut odcinka sprowadza się do jednego punktu na tej rzutni).

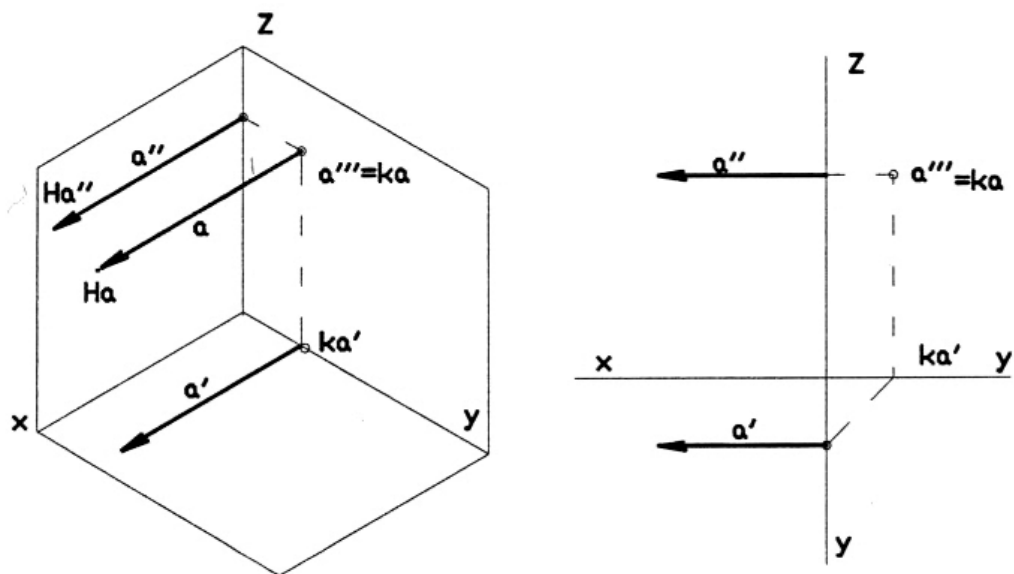
Rys. 2.10a. Szczególne położenie odcinka AB

Do wyznaczenia położenia prostej konieczne jest określenie położenia dwóch dowolnych punktów leżących na kierunku liniowym. Prosta w położeniu dowolnym, czyli prosta nierównoległa ani nieprostopadła do żadnej z rzutni układu odniesienia, przebija rzutnie układu w dwóch punktach zwanych śladami prostej (rys. 2.11). Punkty przebiecia przez prostą rzutni poziomej, pionowej i bocznej noszą odpowiednio nazwę śladu poziomego H_a , śladu pionowego V_a oraz śladu bocznego K_a .

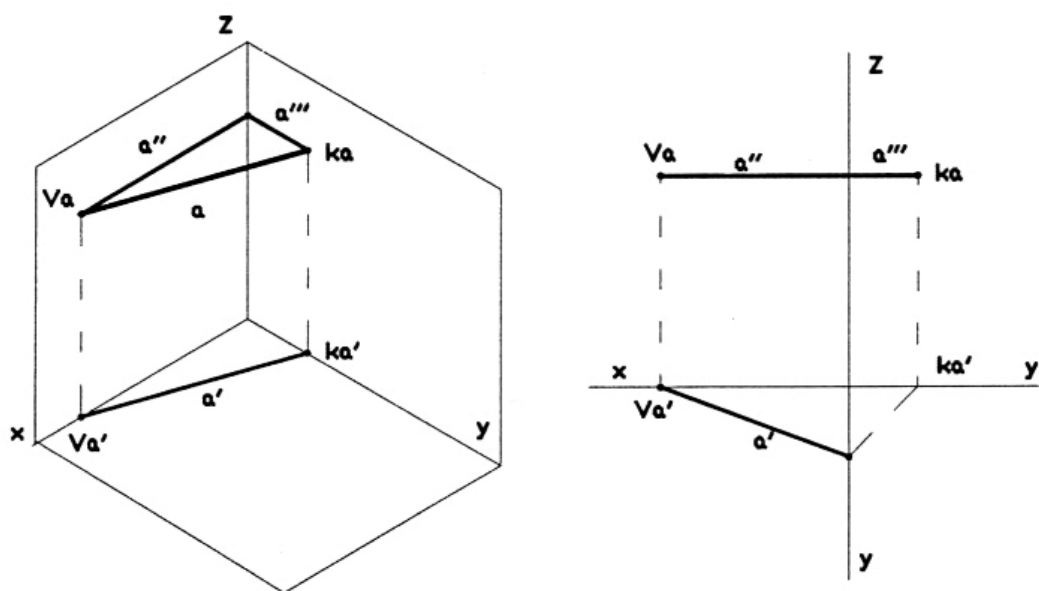


Rys. 2.11. Rzuty i ślady prostej dowolnej

Przykłady szczególnych położen prostych, tzn. prostej poziomej i prostej bocznej przedstawiono na rysunkach 2.12 i 2.13.



Rys. 2.12. Rzuty i ślady prostej poziomej



Rys. 2.13. Rzuty i ślady prostej bocznej

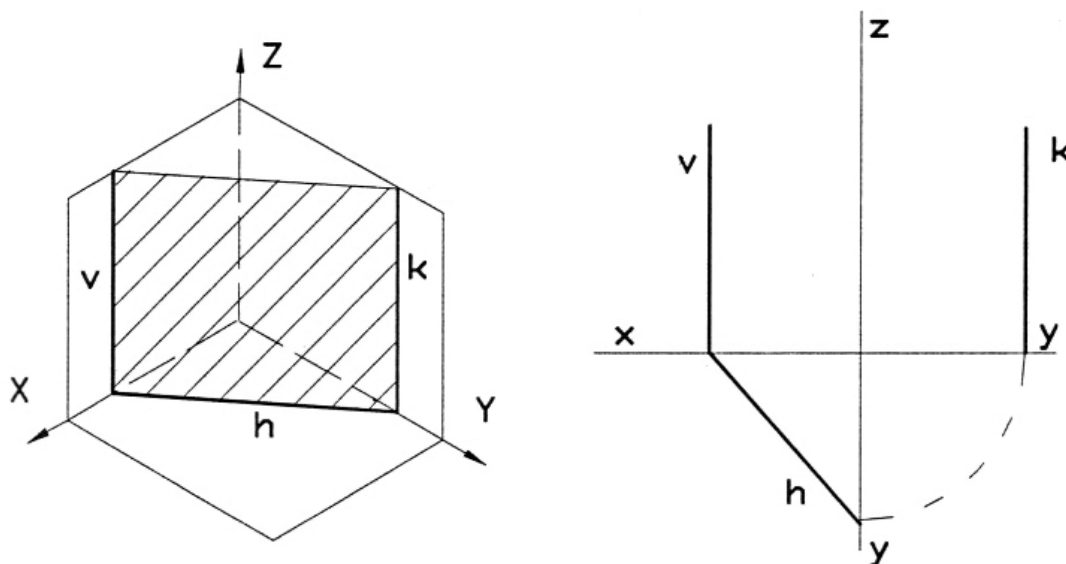
2.2.3. Rzutowanie płaszczyzn i elementów płaskich

Położenie płaszczyzny w przestrzeni wyznacza się przez określenie jej śladów na rzutniach – płaszczyznach układu odniesienia. Ślad płaszczyzny na danej rzutni jest kra-

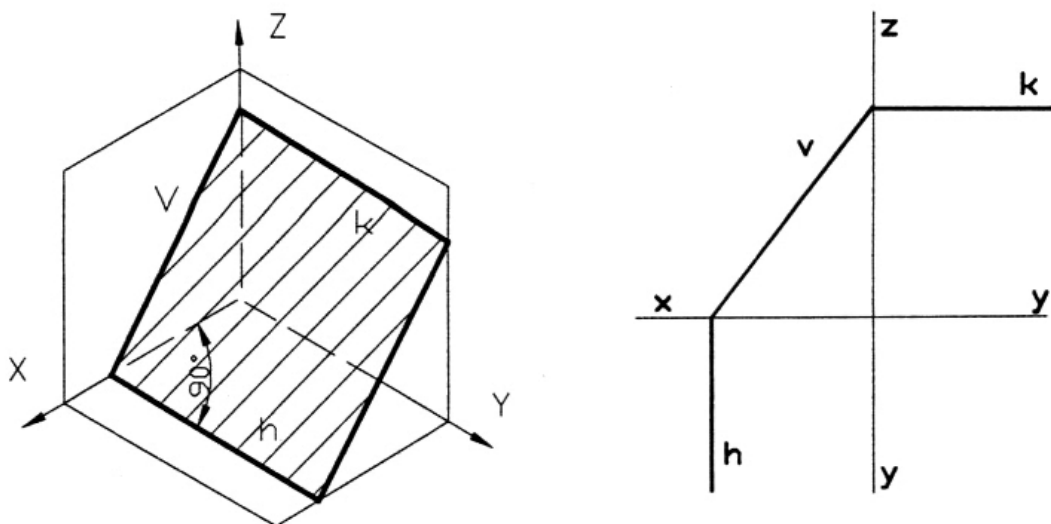
wędką przecięcia się tej płaszczyzny z daną rzutnią. Rozróżnia się zatem ślad poziomy h_α , pionowy v_α i boczny k_α powstałe w wyniku przecięcia się danej płaszczyzny z odpowiednio rzutnią poziomą 1, pionową 2 i boczną 3.

W położeniach płaszczyzn, podobnie jak w przypadku położen linii prostych, można wyróżnić położenia szczególne płaszczyzn względem układu odniesienia, jak np. płaszczyzny równoległe lub prostopadłe do danej rzutni. Równoległość płaszczyzny do jednej rzutni oznacza jednocześnie jej prostopadłość do dwu innych rzutni układu. Płaszczyzny równoległe do rzutni poziomej, pionowej i bocznej noszą odpowiednio nazwę płaszczyzny poziomej, płaszczyzny pionowej i płaszczyzny bocznej. Płaszczyzny te są często stosowane do wykonywania przekrojów brył i obiektów przestrzennych. Wykonywanie takich przekrojów jest stosunkowo łatwe, ponieważ rzut przekroju dowolnego kształtu na rzutnię, do której płaszczyzna tnąca jest prostopadła, sprowadza się do odcinka prostej, niezależnie od kształtu obwiedni przekroju (wielobok, koło, elipsa i każdy inny płaski nieregularny kształt zamknięty).

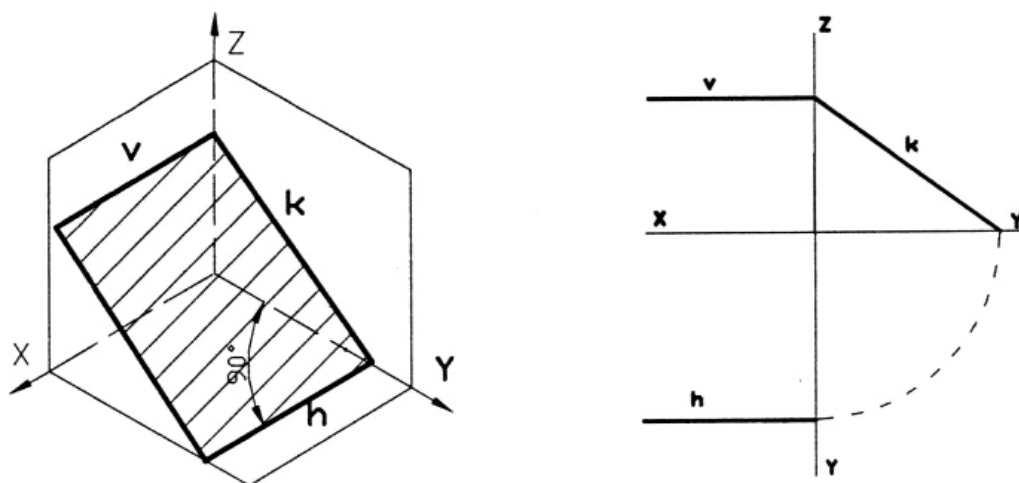
Płaszczyzny prostopadłe do danej rzutni noszą nazwę płaszczyzn rzutujących, przy czym ich nachylenie do pozostałych rzutni może być dowolne (pod kątem $< 90^\circ$). Rozróżnia się płaszczyzny: *poziomo rzutującą* – płaszczyznę prostopadłą do rzutni poziomej, *pionowo rzutującą* – płaszczyznę prostopadłą do rzutni pionowej oraz *bocznie rzutującą* – płaszczyznę prostopadłą do rzutni bocznej. Należy przy tym wyróżnić przypadki szczególne, gdy np. płaszczyzna pionowo rzutująca jest zarazem prostopadła do rzutni poziomej, czyli jest równoległa do rzutni bocznej (płaszczyzna boczna) itd. (rys. 2.16a).



Rys. 2.14. Płaszczyzna poziomo rzutująca



Rys. 2.15. Płaszczyzna pionowo rzutująca



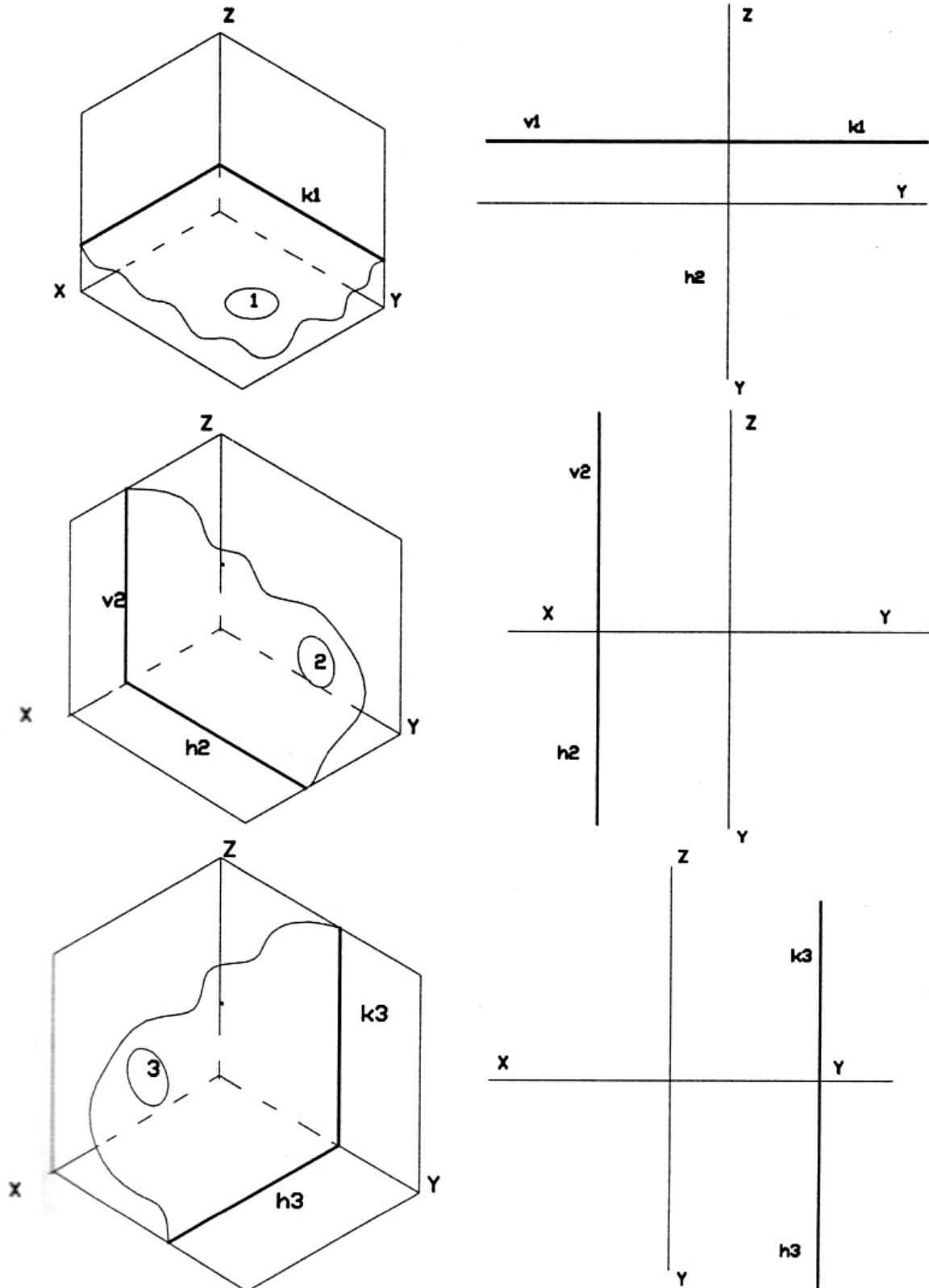
Rys. 2.16. Płaszczyzna bocznie rzutująca

Przykłady płaszczyzn bocznie rzutujących (1, 2, 3), o różnym nachyleniu do pozostałych rzutni układu przedstawiono na rysunku 2.16b.

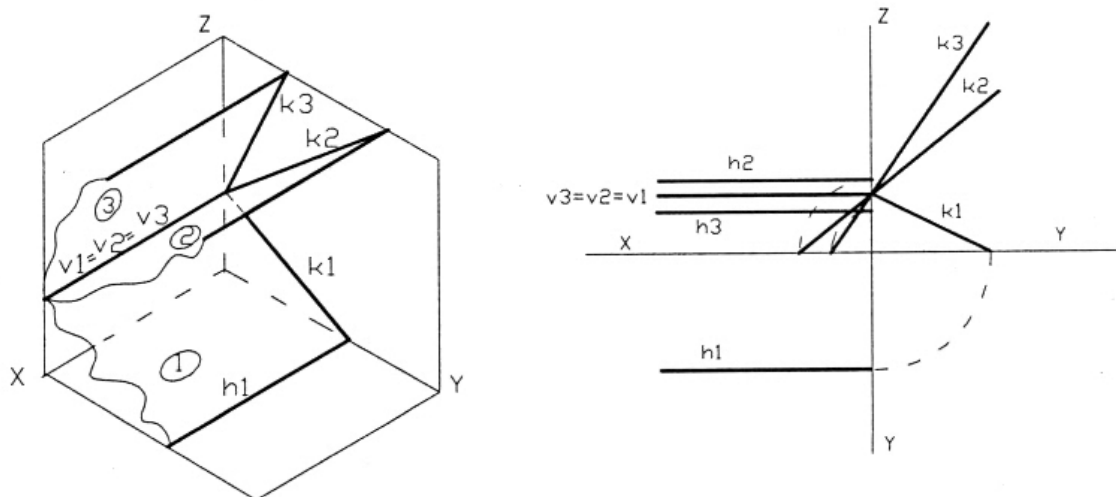
Dowolne położenie płaszczyzny w układzie odniesienia jest to takie położenie, w którym płaszczyzna nie jest ani równoległa ani prostopadła do żadnej rzutni, czyli przecina trzy osie układu odniesienia (rys. 2.17).

Jeżeli dana figura płaska leży na płaszczyźnie dowolnej (dowolnie położona płaszczyzna względem układu odniesienia), nachylonej do każdej z osi układu odniesienia pod kątem $< 90^\circ$, to dla jednoznacznego określenia jej położenia konieczne jest wykonanie trzech rzutów tej figury.

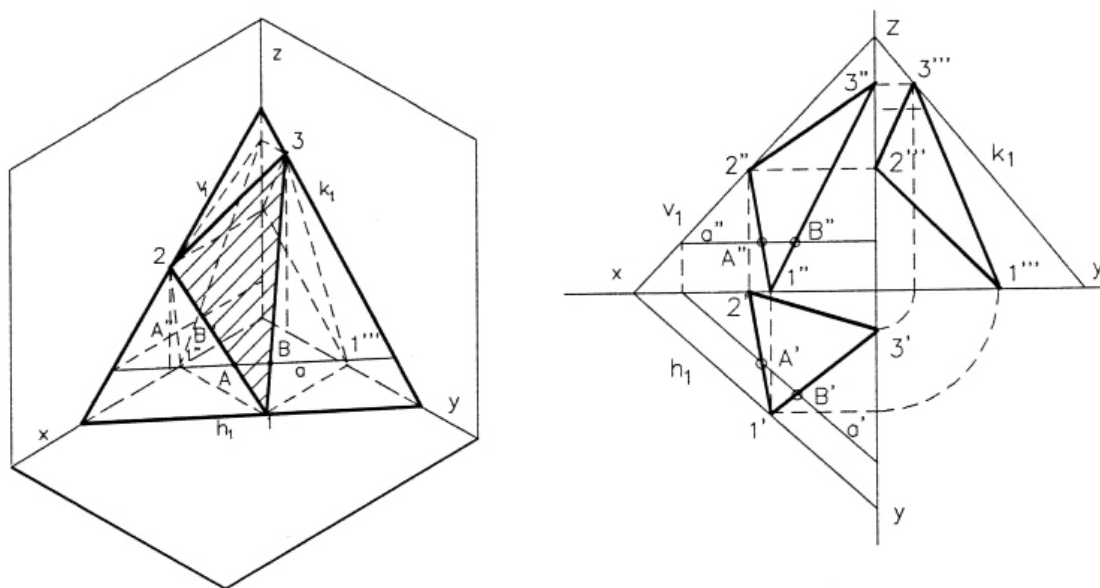
Aby wyznaczyć położenie trójkąta (1, 2, 3) w obszarze I układu przestrzennego, muszą być dane dwa dowolne rzuty trójkąta (np. poziomy 1', 2', 3' oraz pionowy 1'', 2'',



Rys. 2.16a. Przykłady płaszczyzn równoległych do rzutni układu odniesienia



Rys. 2.16b. Pęk płaszczyzn bocznie rzutujących

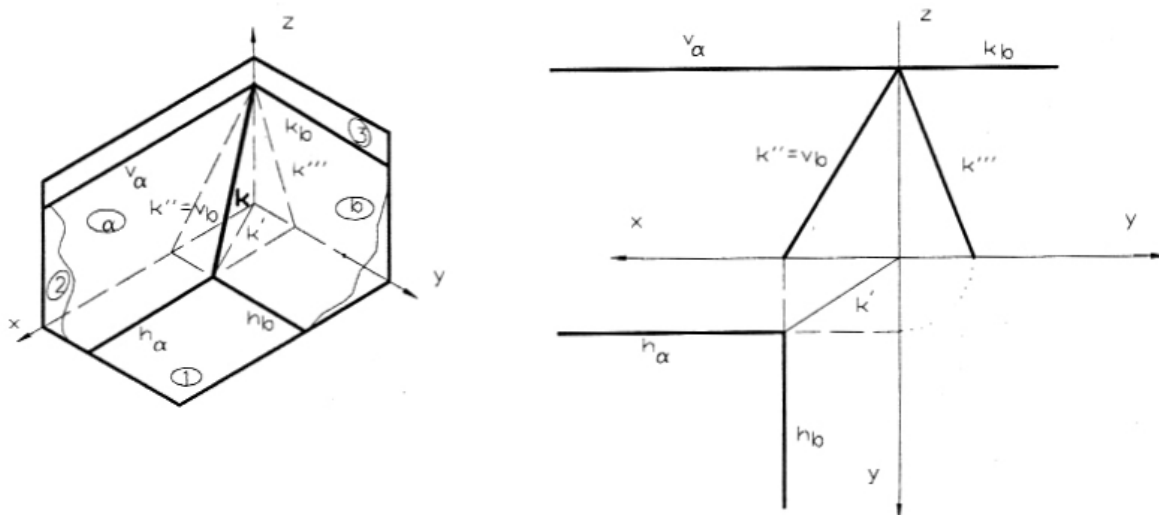


Rys. 2.17. Płaszczyzna dowolna

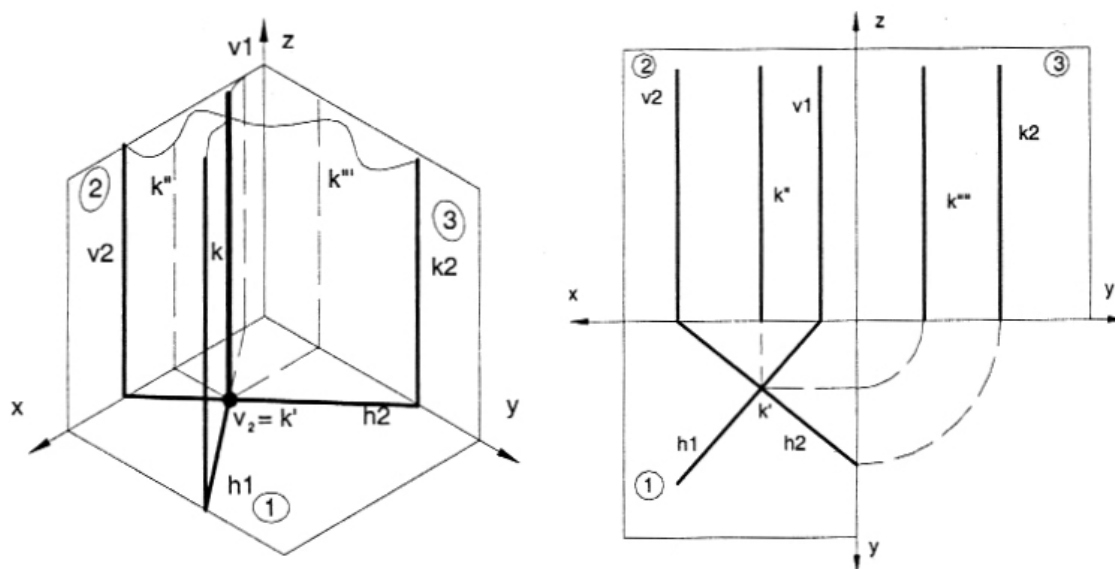
3''), na podstawie których można wyznaczyć trzeci (boczny) rzut trójkąta oraz określić rzeczywiste położenie trójkąta w przestrzeni (rys. 2.17).

2.2.4. Przecinalanie się płaszczyzn – krawędzie płaszczyzn

Płaszczyzny dowolnie położone w przestrzeni się przecinają. Wyjątek stanowią płaszczyzny równoległe. Przecięcie płaszczyzn polega na wyznaczeniu wspólnej prostej leżącej na obu przecinających się płaszczyznach, czyli wyznaczeniu krawędzi przecięcia tych płaszczyzn. Zagadnienie staje się proste, jeżeli rozpatrywane płaszczyzny są płaszczyznami rzutującymi, np. płaszczyzna bocznie rzutująca i płaszczyzna pionowo rzutująca, jak na rysunku 2.18.

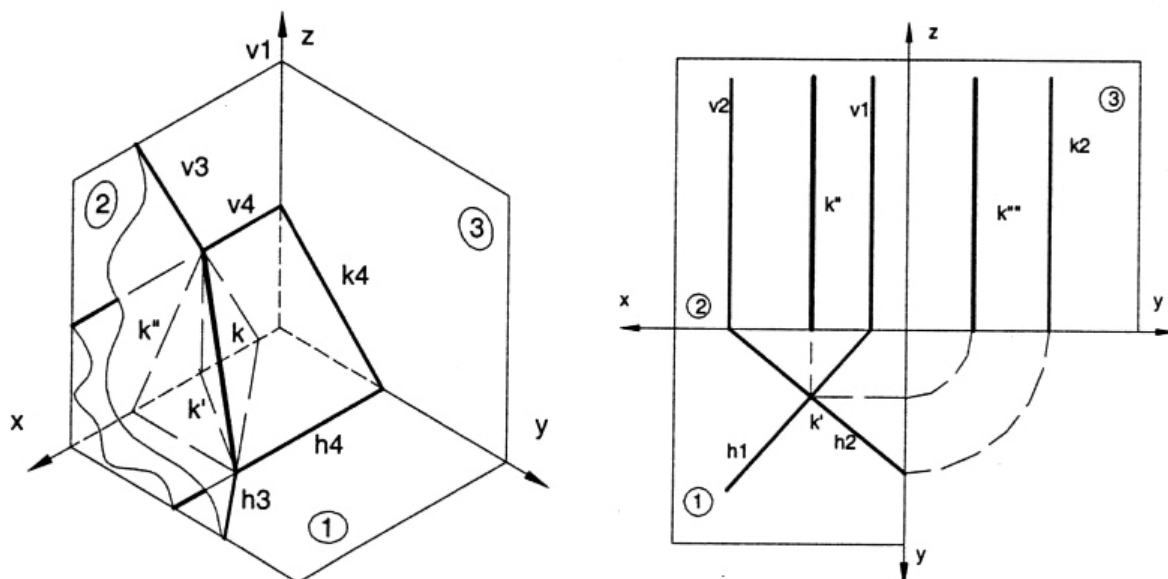
Rys. 2.18. Krawędź przecięcia k płaszczyzn bocznie i pionowo rzutujących

Krawędź przecięcia dwóch płaszczyzn poziomo rzutujących 1 i 2 przedstawia rysunek 2.19.

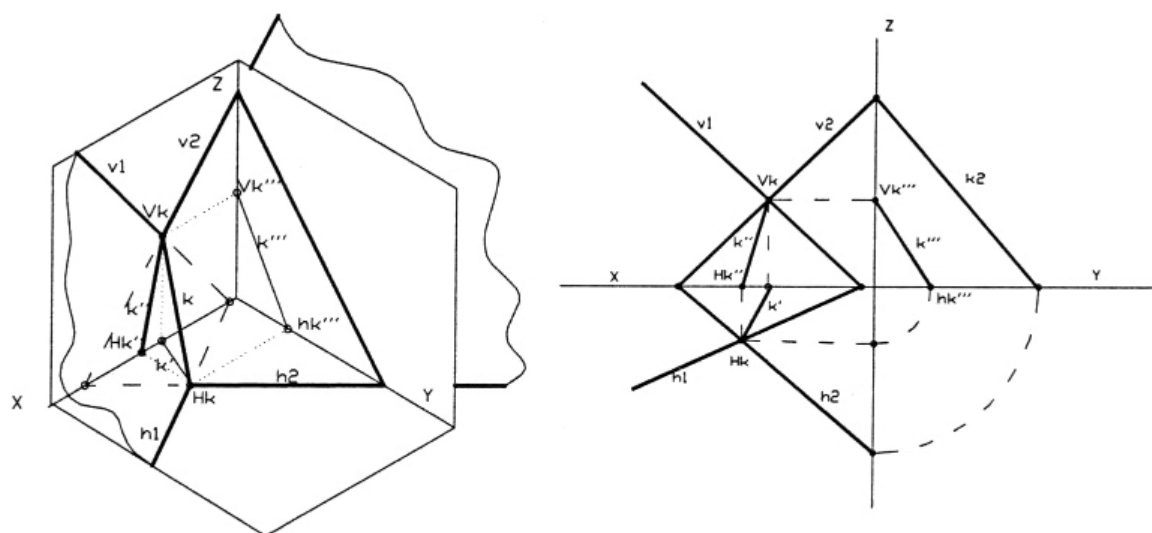
Rys. 2.19. Krawędź przecięcia k dwóch płaszczyzn poziomo rzutujących 1 i 2

Na rysunku 2.20 przedstawiono krawędź przecięcia płaszczyzny dowolnej 3 z płaszczyzną bocznie rzutującą 4.

Krawędź przecięcia dwóch płaszczyzn położonych dowolnie 1 i 2 ilustruje rysunek 2.21.



Rys. 2.20. Krawędź przecięcia dowolnej płaszczyzny 3 z płaszczyzną bocznie rzutującą 4



Rys. 2.21. Krawędź przecięcia dwóch dowolnych płaszczyzn 1 i 2

2.2.5. Odwzorowanie płaszczyzn i prostych

Punkty przebicia płaszczyzn prostymi

Położenie wzajemne prostych i płaszczyzn w przestrzeni sprowadzają się do następujących przypadków:

- prosta przebija daną płaszczyznę (jeden punkt wspólny – punkt przebicia),
- prosta nie przebija płaszczyzny (prosta równoległa do płaszczyzny – brak punktów wspólnych),

- prosta leży na płaszczyźnie (prosta z płaszczyzną ma nieskończenie wiele punktów wspólnych).

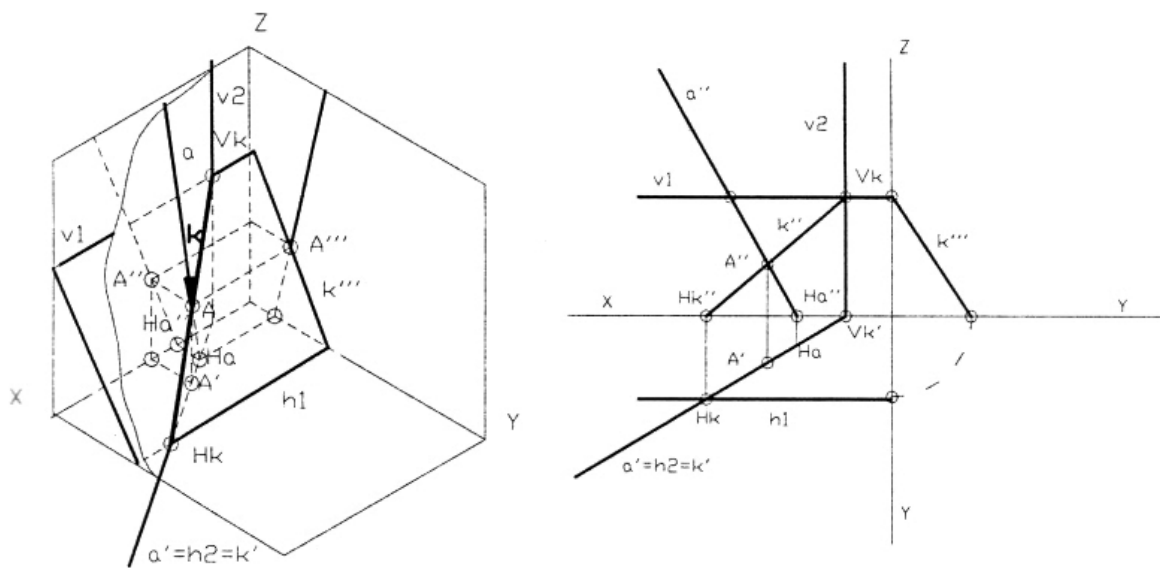
Z wymienionych przypadków położenia prostej i płaszczyzny największe praktyczne zastosowanie ma pierwszy przypadek – przebicie prostej z płaszczyzną, który służy do wyznaczania odległości punktu od płaszczyzny lub wzajemnej linii przenikania brył i złożonych obiektów geometrycznych.

Przykład

Przebicie płaszczyzny bocznie rzutującej (v_1, h_1) prostą a dowolnie położoną przedstawiono na rysunku 2.22.

Sposób rozwiązania

Przez daną prostą a prowadzi się płaszczyznę poziomo rzutującą (v_2, h_2) spełniającą warunek, że prosta a leży na płaszczyźnie (v_2, h_2) i wyznacza się krawędź przecięcia k obu płaszczyzn. Przecięcie odpowiednich rzutów prostej a i krawędzi k jest szukanym punktem A przebicia prostej a i płaszczyzny (v_1, h_1).



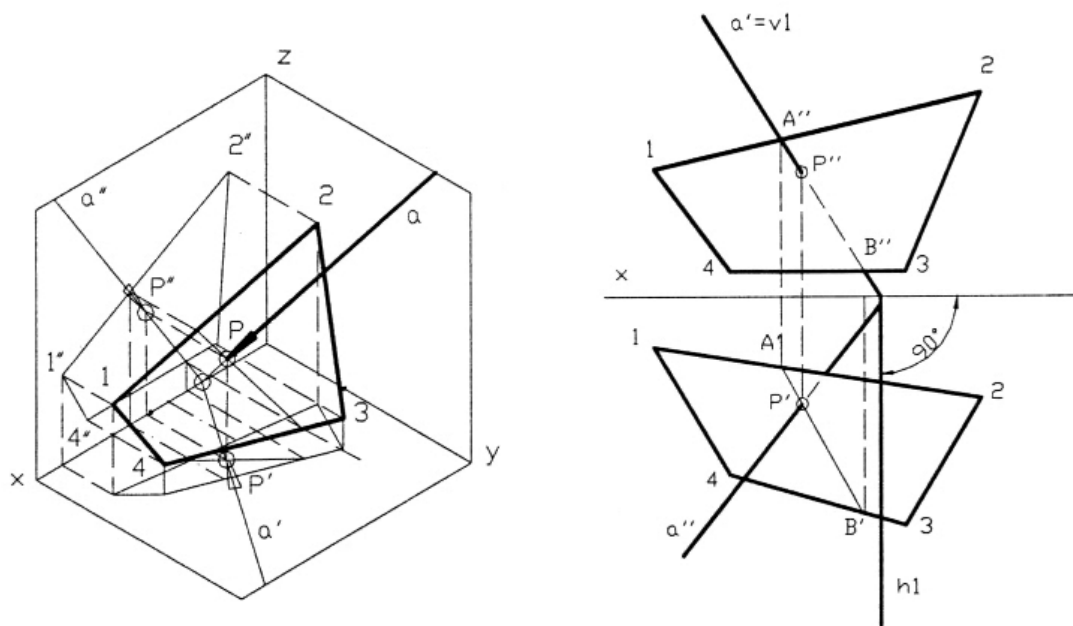
Rys. 2.22. Przebicie płaszczyzny bocznie rzutującej dowolną prostą

Przykład

Przebicie płaszczyzny czworoboku (1, 2, 3, 4) prostą dowolną a przedstawiono na rysunku 2.23.

Sposób rozwiązania

Rozwiązanie przebiega podobnie jak w poprzednim przykładzie przy zastosowaniu płaszczyzny pionowo rzutującej (v_1, h_1).



Rys. 2.23. Przebiecie płaszczyzny czworoboku (1,2,3,4) dowolną prostą a

2.3. Rzutowanie brył geometrycznych

Odwzorowania kształtów bryłowych przestrzennych (3D) należą do podstawowych zadań grafiki inżynierskiej. Dla dokładnego odwzorowania kształtu obiektu trójwymiarowego istnieje potrzeba wykonania większej liczby rzutów prostokątnych (np. trzech) ponieważ dwa rzuty podstawowe (pionowy i poziomy) mogą okazać się niewystarczające do jednoznacznego odwzorowania obiektu.

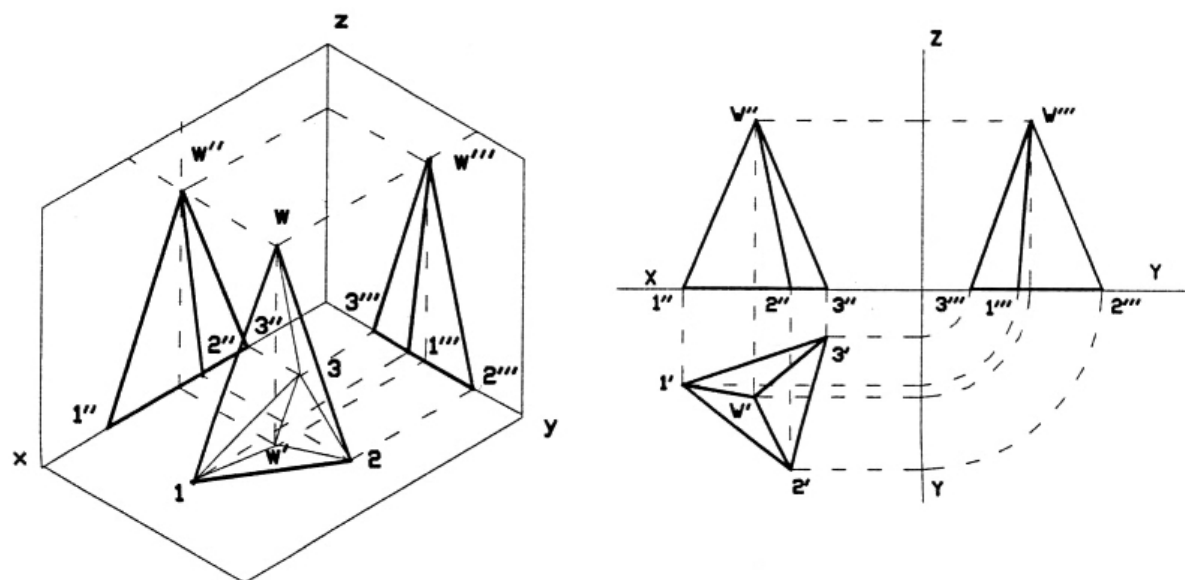
W niniejszym opracowaniu omówiono odwzorowania obiektów przestrzennych na podstawie przykładów rzutowania brył płaskościennych (ostrosłupów, graniastosłupów) i brył obrotowych (stożków, walców, kul).

2.3.1. Rzutowanie brył płaskościennych

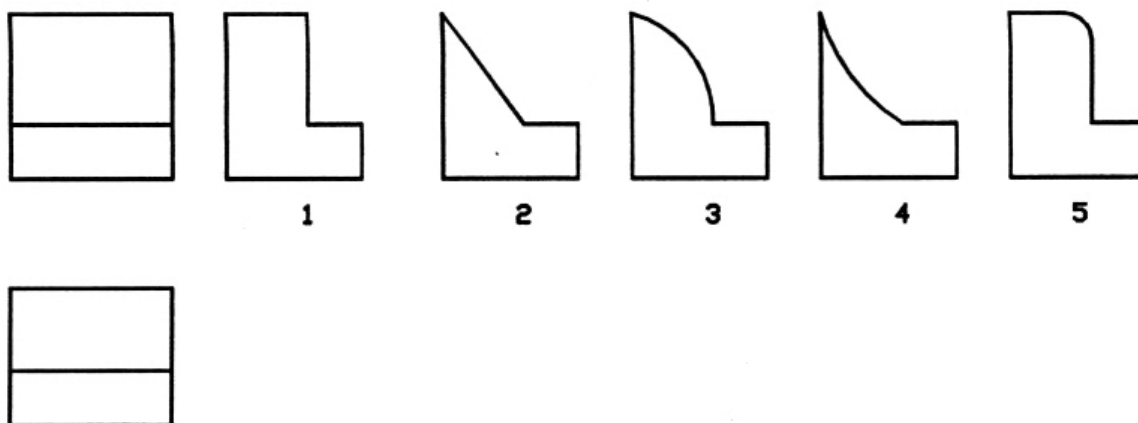
Bryły płaskościenne złożone są z figur płaskich. Najprostszą bryłą płaskościenną jest czworościan, do którego odwzorowania konieczne są dwa podstawowe rzuty prostokątne: pionowy i poziomy, pionowy i boczny lub poziomy i boczny. Rzutowanie czworościanu sprowadza się do wyznaczenia położenia rzutów punktów charakterystycznych czworościanu – czterech jego wierzchołków (rys. 2.24).

Na rysunku 2.25 przedstawiono bryłę w dwóch rzutach, w rzucie pionowym i poziomym, które nie określają jednoznacznie jej rzeczywistego kształtu, ponieważ rzutom

tym mogą odpowiadać różne rzuty boczne (1,2,3,4,5). W celu jednoznacznego określenia kształtu bryły konieczny jest trzeci rzut wybrany spośród kilku rzutów bocznych zamieszczonych na rysunku.

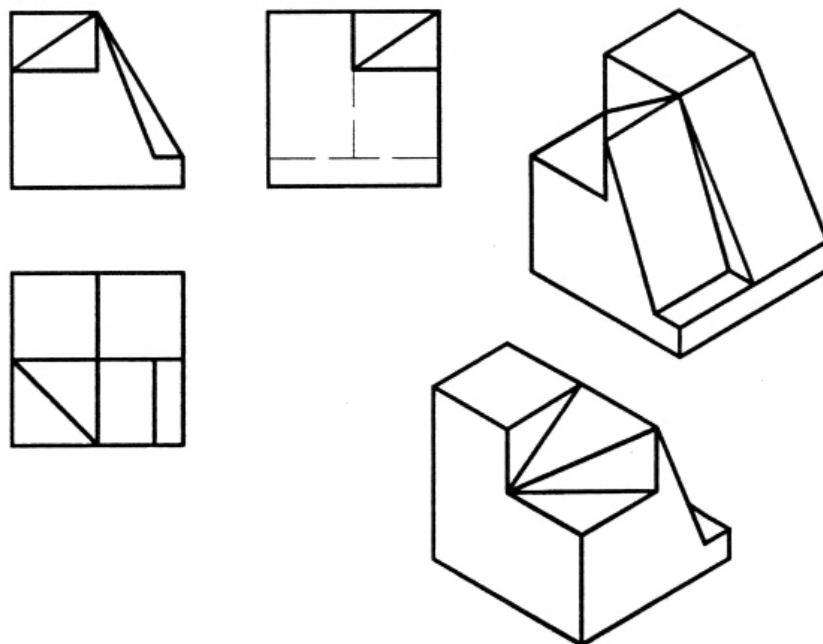


Rys. 2.24. Rzuty prostokątne czworościanu



Rys. 2.25. Niejednoznaczność kształtu brył krawędziowych

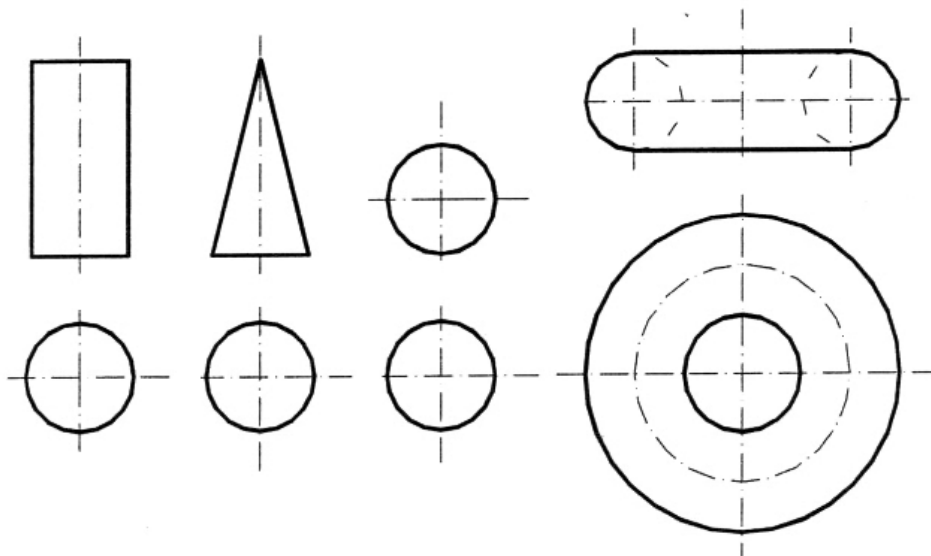
Przykład bryły o jednoznacznie określonym kształcie przedstawiono na rysunku 2.26.



Rys. 2.26. Bryła o jednoznacznie określonym kształcie

2.3.2. Rzutowanie brył obrotowych

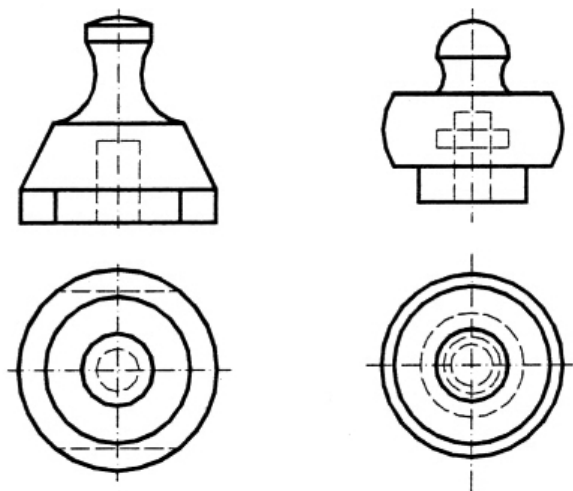
Proste bryły obrotowe wystarczy przedstawić za pomocą dwóch rzutów prostokątnych, przy czym jeden z rzutów ma kształt kołowy. Takie odwzorowanie jest wystarczające, gdy rzutuje się bryły proste o kształtach regularnych, takich jak walec cylindryczny, stożek, kula, pierścień (torus) (rys. 2.27). W przypadku kuli kształty kołowe



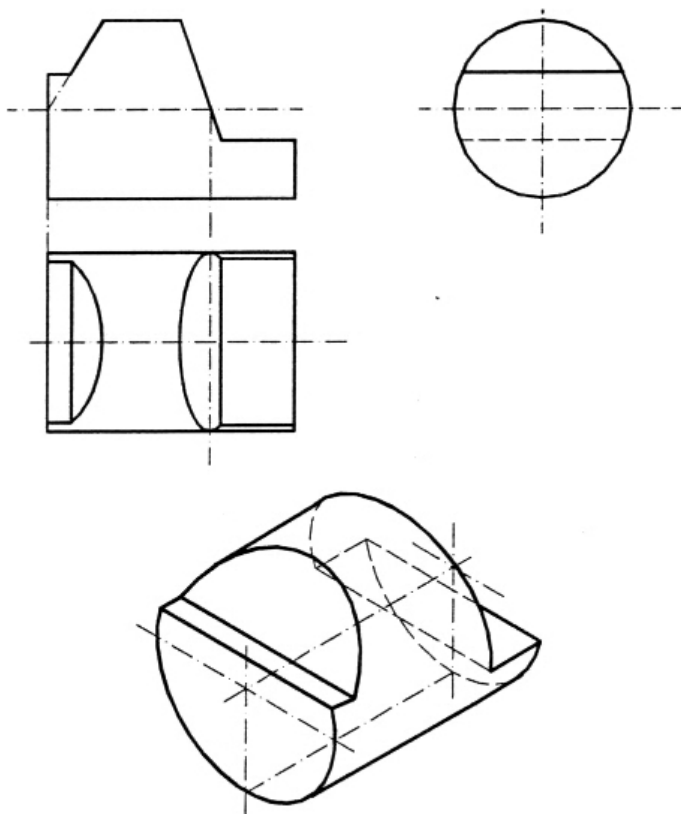
Rys. 2.27. Rzutowanie prostych brył obrotowych

występują w obu rzutach. Dla obiektów o kształtach złożonych z (kilku) brył podstawowych, wykonanie dwóch rzutów może okazać się niewystarczające do odwzorowania rzeczywistego kształtu bryły złożonej i wówczas wymagany jest dodatkowo trzeci rzut.

Przykłady odwzorowania modeli o kształtach obrotowych przedstawiono na rysunkach 2.28 i 2.29.



Rys. 2.28. Odwzorowanie modeli obrotowych

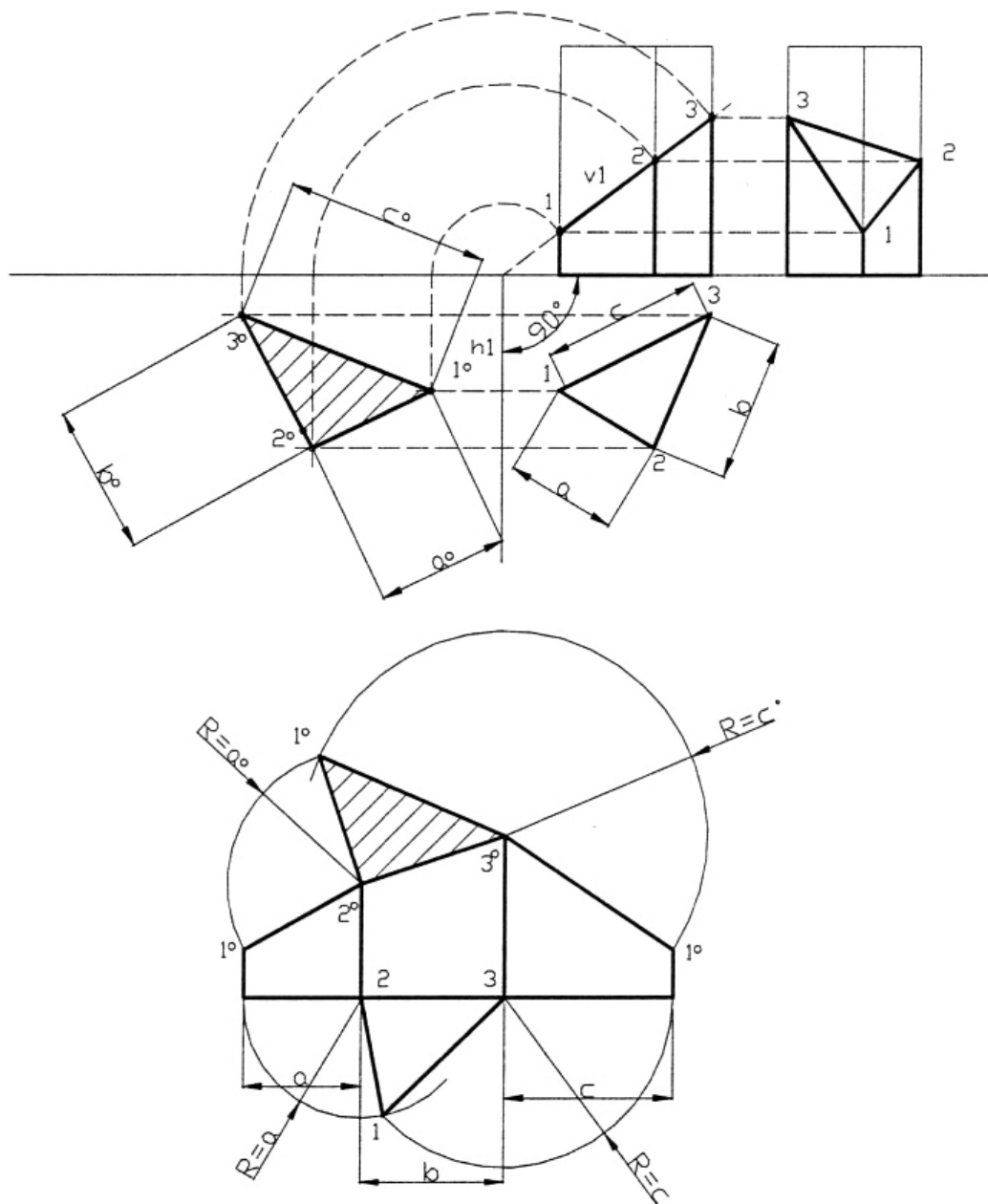


Rys. 2.29. Odwzorowanie złożonego modelu walcowego

2.4. Operacje na bryłach geometrycznych

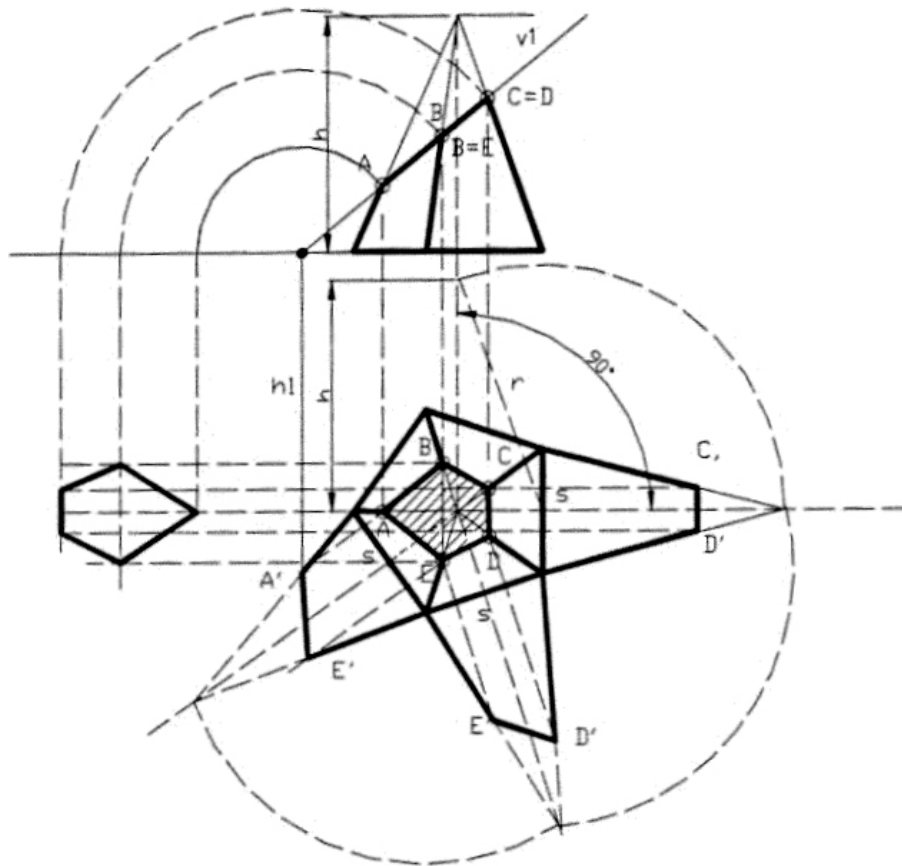
2.4.1. Przekroje brył płaskościennych i ich rozwinięcie

Bryły płaskościennne złożone są z płaskich wieloboków o kształtach foremnych lub dowolnych tworzących ściany. Wzajemne przecięcia się ścian tworzą krawędzie bryły. W bryłach złożonych kształty mogą być utworzone z elementów płaskich (figur) i zakrzywionych powierzchni (np. z powierzchni o kształtach regularnych obrotowych). Istnieją również bryły o kształtach całkowicie nieregularnych i nieobrotowych.

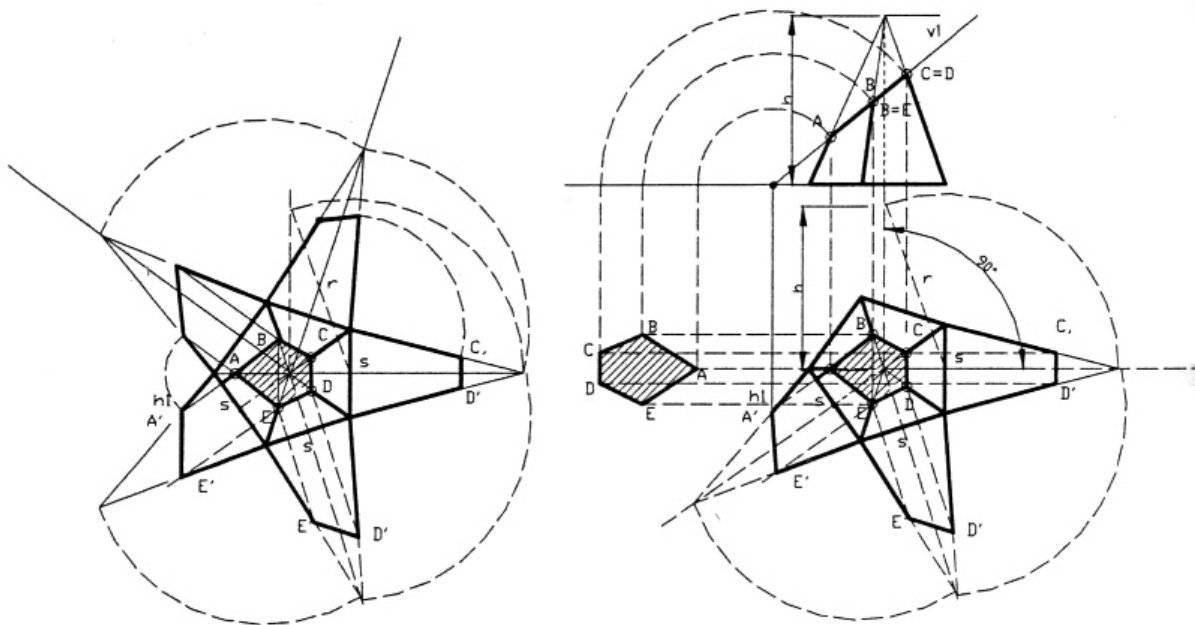


Rys. 2.30. Przekrój graniastosłupa trójkątnego płaszczyzną pionowo rzutującą

Przecięcie (przekrój) bryły płaszczyzną polega na wyznaczeniu kształtu wieloboku zamkniętego powstałego w wyniku przecięcia płaszczyzny tnącej z płaszczyznami ścian bryły. W zależności od położenia bryły płaskościenniej względem rzutni oraz rodzaju i położenia płaszczyzny tnącej otrzymuje się przekroje charakterystyczne, np. jeżeli płaszczyzna tnąca jest płaszczyzną rzutującą, a większość ścian bryły jest prostopadła do rzutni układu. Najprościej wyznacza się przekroje brył płaszczyznami rzutującymi (jak wyjaśniono w rozdz. 2.2.3). Przykłady ilustrujące przekrój graniastosłupa trójkątnego oraz ostrosłupa płaszczyzną pionowo rzutującą pokazano na rysunkach 2.30 i 2.31, a na rysunku 2.32 przedstawiono wykonanie przekroju tego samego ostrosłupa z wyznaczeniem kładu przekroju oraz rozwinięcie siatki graniastosłupa po przecięciu płaszczyzną.



Rys. 2.31. Przekrój ostrosłupa płaszczyzną pionowo rzutującą



Rys. 2.32. Przekrój ostrosłupa z kładem, przekrojem i rozwinięciem

2.4.2. Punkty przebicia brył prostymi

Zagadnienie wyznaczania punktów przebicia brył prostymi polega na wyznaczaniu punktów, w których dana prosta w przestrzeni przebija bryłę. Możliwe są trzy przypadki:

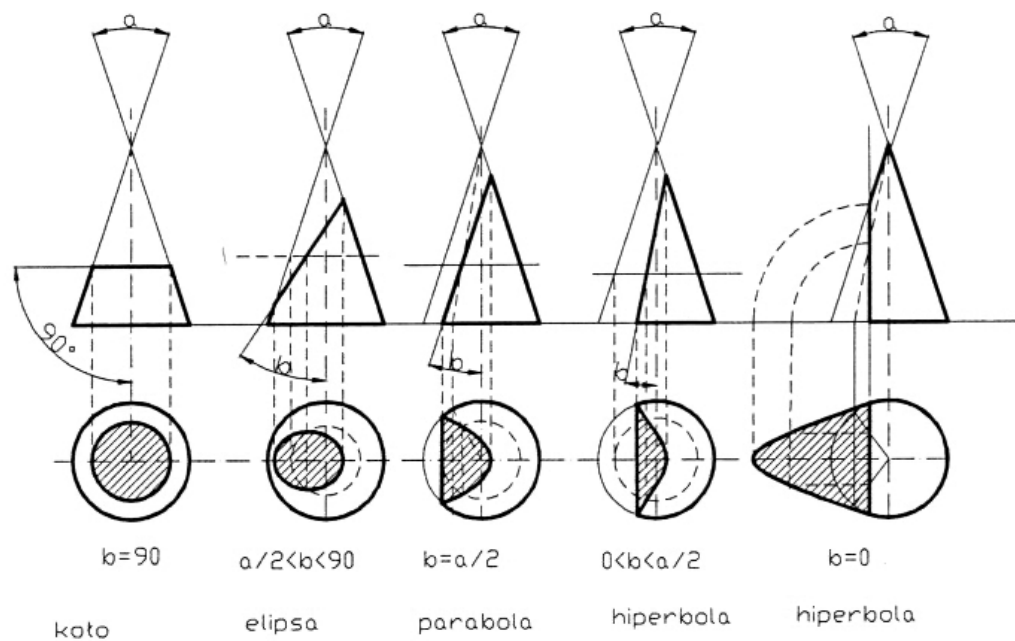
- a) prosta nie ma żadnego punktu wspólnego z bryłą, czyli mija się z nią w przestrzeni,
- b) prosta ma tylko jeden wspólny punkt z bryłą, zatem jest do niej styczna,
- c) prosta posiada dwa wspólne punkty z bryłą – w tym przypadku prosta przebija bryłę, tzn. w punkcie pierwszym prosta wchodzi do wnętrza obszaru bryły, a w punkcie drugim po przebiegu bryły wychodzi z jej wnętrza.

Dla danych rzutów prostej i bryły punkty przebicia wyznacza się następująco:

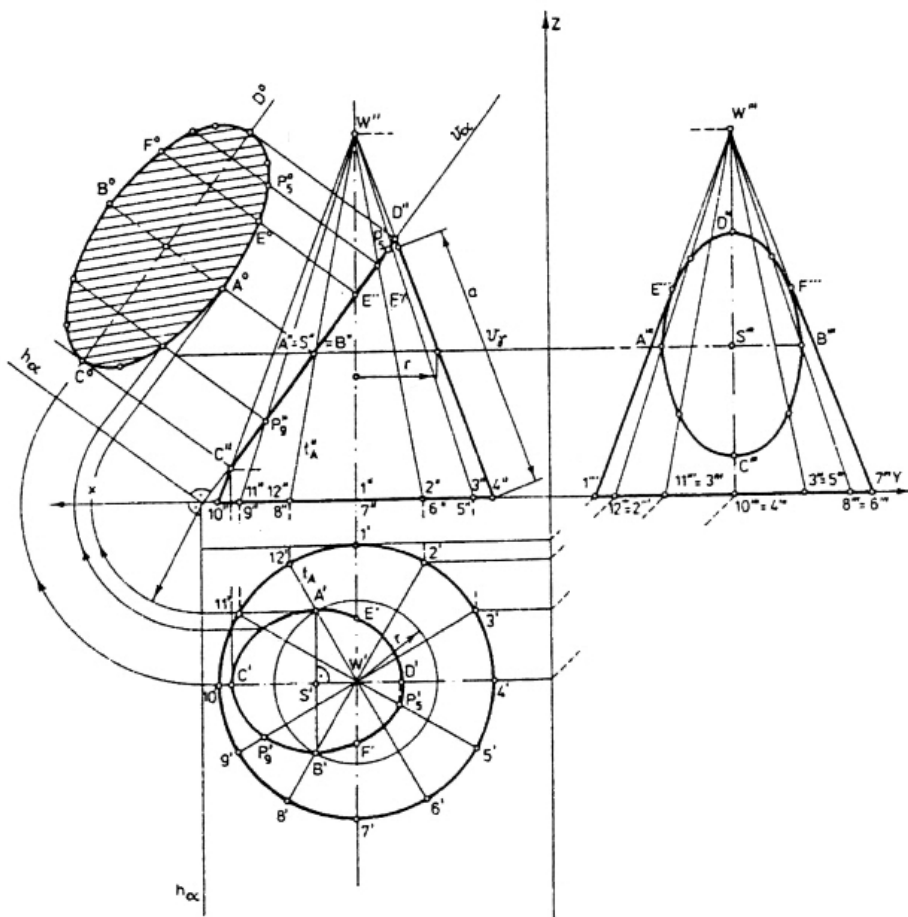
1. Przez daną prostą prowadzi się płaszczyznę rzutującą (pionowo lub poziomo rzutującą) w taki sposób aby dana prosta leżała w tej płaszczyźnie, tzn. dany rzut prostej musi leżeć na odpowiednim rzucie płaszczyzny, np. rzut pionowy prostej powinien leżeć na rzucie pionowym płaszczyzny, rzut poziomy prostej na rzucie poziomym płaszczyzny itd.

2. Wyznacza się przekrój bryły znanym i opisanym wcześniej sposobem (rozdz. 2.4.1).

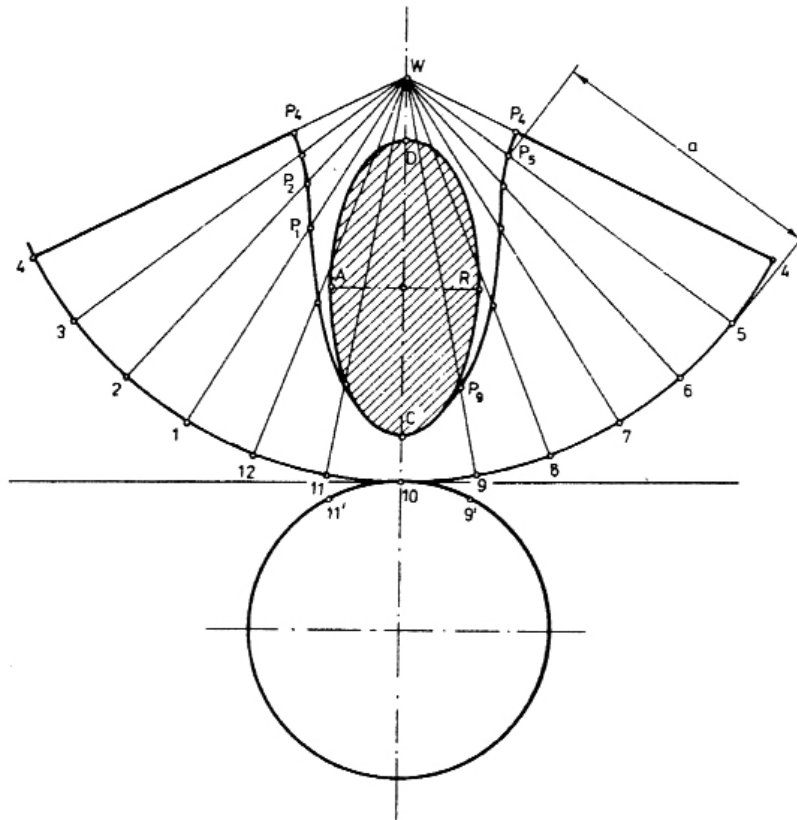
3. Sprawdza się czy prosta leżąca w płaszczyźnie przekroju przecina wyznaczony obwód przekroju bryły w tym samym rzucie. Jeżeli prosta przecina wyznaczony przekrój w dwóch punktach to są to szukane punkty przebicia bryły z prostą. Jeżeli prosta jest styczna do wyznaczonego przekroju, czyli ma jeden wspólny punkt z tym przekrojem, to oznacza, że prosta bryły nie przebija, a wyznaczony wspólny punkt jest punktem styczności prostej i bryły. Gdy natomiast prosta nie przecina wyznaczonego obwo-



Rys. 2.35. Przekrój stożka kołowego płaszczyznami pionowo rzutującymi



Rys. 2.36a. Przekrój stożka płaszczyzną pionowo rzutującą z kładem i rozwinięciem



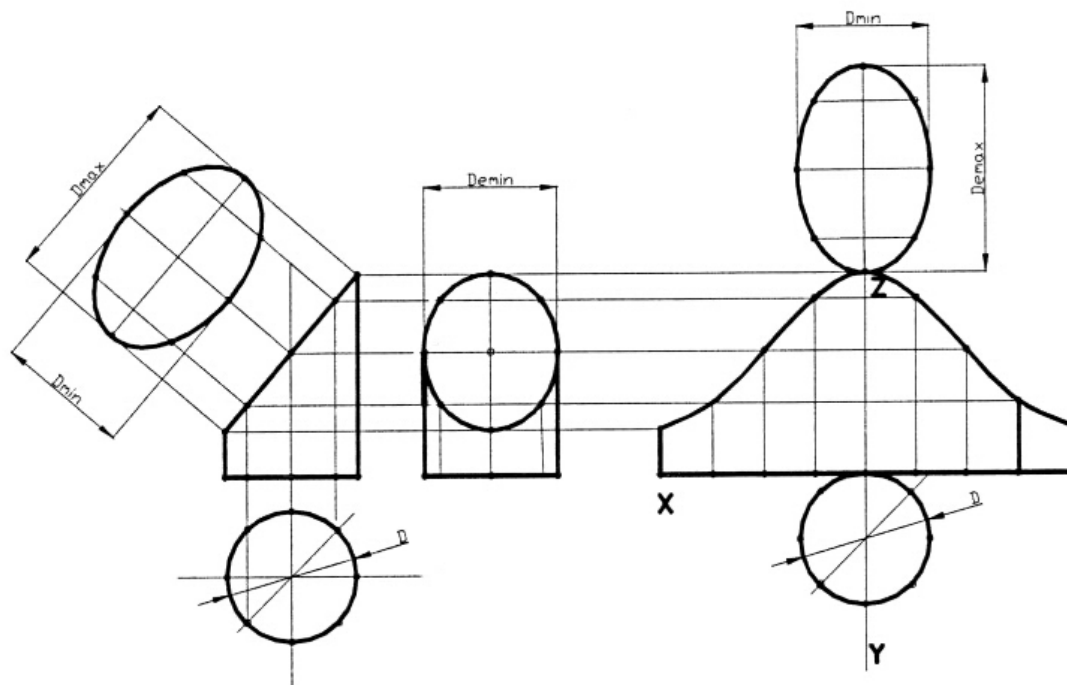
Rys. 2.36b. Rozwinięcie stożka

Aby wyznaczyć całkowite rozwinięcie siatki bryły stożka, należy oprócz kładu podstawy stożka i kładu przekroju wyznaczyć rozwinięcie pobocznicę stożka.

Rozwinięcie pobocznicę stożka rozpoczyna się od podziału obwodu podstawy stożka na n równych części, np. 8, 10 lub 12 i następnie kreśli się tworzące stożka z uzyskanych punktów podziału podstawy. Rozwinięcie obwodu pobocznicę stożka równe obwodowi podstawy stożka o średnicy D wykonuje się, rysując segment koła o promieniu $R = l_s$, przy czym l_s oznacza długość tworzącej stożka. W następnej kolejności należy wyznaczyć rzeczywiste długości poszczególnych tworzących $l_1, \dots, l_{12}$ odpowiadające poszczególnym punktom podziału podstawy stożka. Rzeczywiste długości pośrednich tworzących uzyskuje się przez ich odniesienie do skrajnych tworzących, które mają rzeczywiste długości (bez zniekształceń wynikających z rzutowania), np. $5 - P_5 = a$ (rys. 2.36a). Łącząc kolejno poszczególne punkty P_4, P_5, P_2 (końce tworzących), otrzymuje się linię krzywą rozwinięcia obwodu przekroju, której długość równa jest długości obwodu elipsy przekroju. Całość rozwinięcia bryły stanowi: kład elipsy przekroju, koło podstawy stożka i pobocznica stożka w rozwinięciu.

W podobny sposób można wyznaczyć rozwinięcia innych stożków z przekrojami parabolicznymi lub hiperbolicznymi.

W przypadku rozwinięcia przeciętych walców prostych sposób postępowania jest podobny, przy czym tworzące walców przedstawione w rzutach mają wielkości rzeczywiste (bez skrótów) i mogą być bezpośrednio odczytane z rzutów. Ilustrację rozwinięcia przeciętego walca przedstawiono na rysunku 2.37.



Rys. 2.37. Rozwinięcie przeciętego walca

2.5. Obroty i kłady

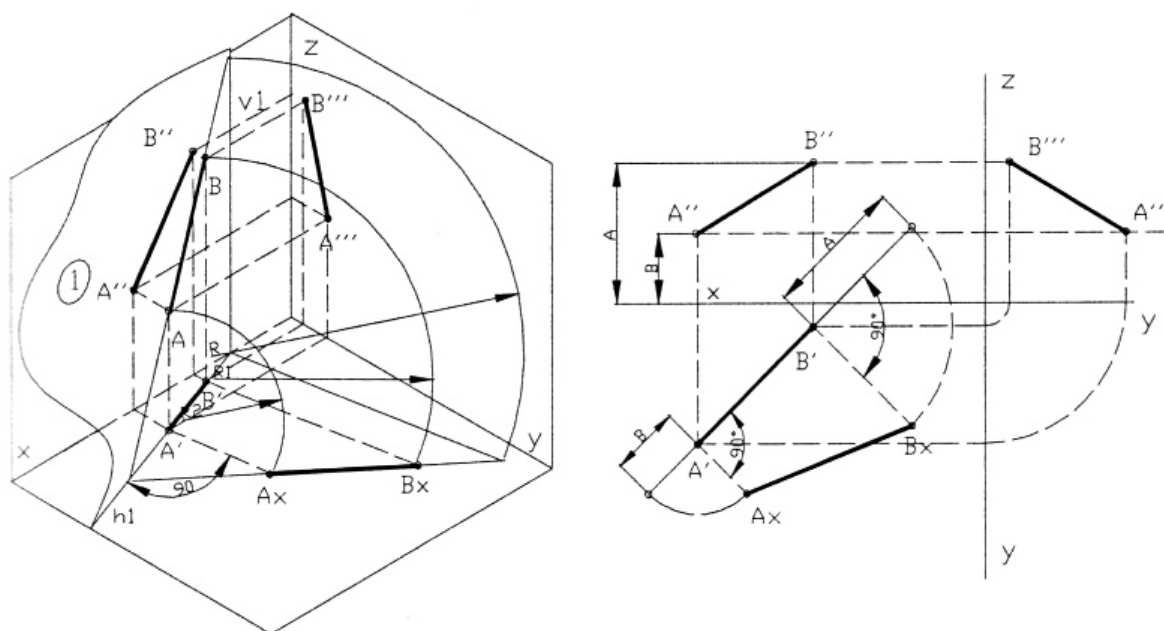
Odwzorowanie obiektów geometrycznych przez rzutowanie prostokątne umożliwia określenie ich rzeczywistych wielkości, jednak uwarunkowane jest to szczególnym położeniem obiektu względem rzutni. Rzutowane obiekty należy usytuować względem układu rzutni w taki sposób, aby wszystkie lub większość głównych krawędzi rzutowanego obiektu była równoległa lub prostopadła do płaszczyzn rzutni. Wszelkie inne dowolne (skośne) położenia obiektu względem rzutni układu powodują zniekształcenie wymiarowe krawędzi obiektu (skrót krawędzi). Powoduje to utrudnienie w poprawnym odtworzeniu rzeczywistego kształtu obiektu.

Jeżeli podczas normalnego rzutowania nie można uniknąć skrótów, należy przyjąć kierunek rzutowania skośny względem podstawowego układu rzutni i jednocześnie będący rzutowaniem prostokątnym względem nowo utworzonej rzutni, położonej skośnie do układu podstawowego.

W celu określenia wielkości rzeczywistych elementów geometrycznych, które w rzutach prostokątnych są skrócone (zniekształcone) wykorzystuje się operacje geometryczne obrotu i kładu. Operacja kładu wiąże się z obrotem obiektu o dany kąt względem przyjętej osi obrotu i położeniem go na jednej z rzutni układu. Operacja kładu może dotyczyć prostych obiektów, takich jak prosta, odcinek (krawędź) lub elementów płaskich (wielobok, ścianka bryły). Najczęściej wykorzystuje się kłady trapezowe i trójkątne. Przykład kładu trapezowego dla odcinka AB przedstawiono na rysunku 2.38. Kład odcinka otrzymuje się w wyniku obrotu odcinka AB wokół osi obrotu – prostej, na której leży rzut poziomy odcinka $A'B'$ i położeniu go na rzutnię poziomą układu (A_x, B_x).

Kład przekroju graniastosłupa o podstawie trójkątnej przedstawiono na rysunku 2.30.

Inne przykłady kładów przekrojów ostrosłupa o podstawie pięciokąta zamieszczono na rysunkach 2.32, 2.35 i 2.37.



Rys. 2.38. Kład trapezowy odcinka

2.6. Przenikanie brył

Końcowym tematem w rozdziale dotyczącym podstawowych wiadomości z geometrii wykreślnej jest zagadnienie przenikania brył. Tematyka ta obejmuje rozwiązywanie zadań obiektów o kształtach złożonych, których rozwiązywanie tradycyjnymi metodami geometrycznymi jest trudne i bardzo pracochłonne. Z tego względu nie mogą być one wykorzystywane w szerokim zakresie w ramach zajęć programowych i prac domowych studentów. Zagadnienia przenikania brył często jednak występują w pracach inżynierskich. Zastosowanie graficznej techniki komputerowej znacznie ułatwia i przy-

śpiesza rozwiązanie tych zagadnień, lecz wymaga zaawansowania w opanowaniu systemu projektowania 3D.

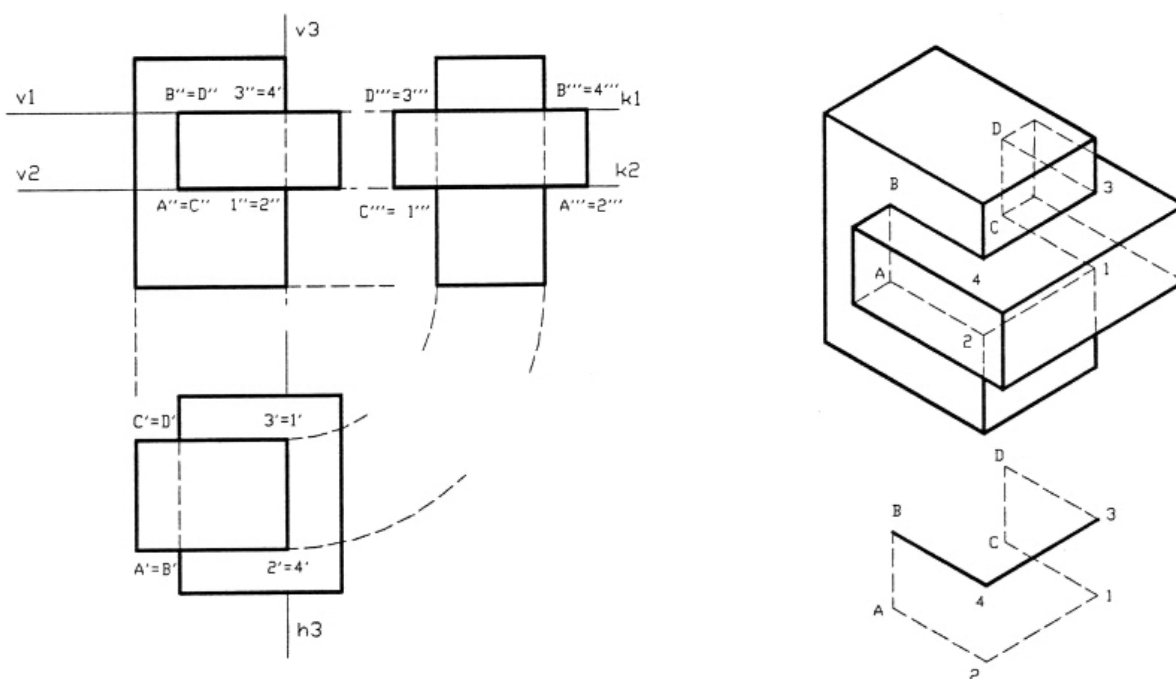
Załączono dalej krótki opis metod geometrycznych wyznaczania linii przenikania brył oraz przykładowe ilustracje przenikania niektórych brył płaskościennych i obrotowych.

Najczęściej przestrzenny obiekt o złożonym kształcie geometrycznym powstaje przez sumowanie lub odejmowanie brył o podstawowych kształtach, tzw. prymitywów, jak graniastosłupy i ostrosłupy (bryły płaskościennne) oraz walce, stożki, kule (bryły obrotowe).

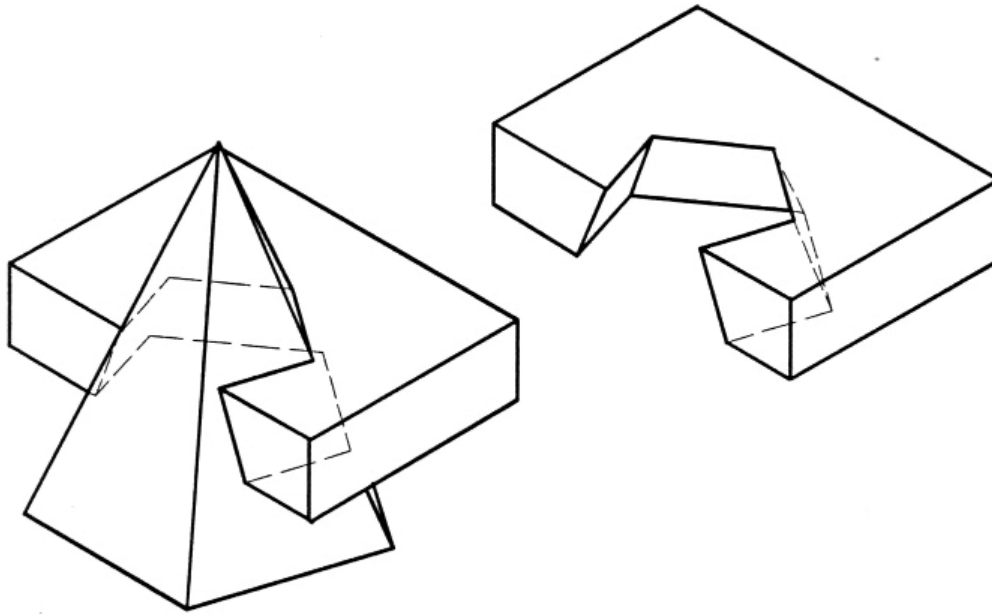
Aby wyznaczyć linie przenikania, należy dokonać kilku przecięć płaszczyznami równoległymi – poziomymi lub pionowymi całego obiektu, czyli wyznaczenia przekrojów poszczególnych brył składowych. W wyniku wzajemnego przecinania się uzyskanych w ten sposób przekrojów otrzymuje się szukane punkty linii przenikania. Należy przy tym dokonać kilku przecięć, aby uzyskać zamkniętą linię przenikania, najczęściej linię krzywą przestrzenną.

2.6.1. Przenikanie brył płaskościennych

Przenikanie dwóch brył płaskościennych polega na wyznaczaniu położenia punktów przebiecia krawędzi (prostych) jednej bryły ze ścianami (płaszczyznami) drugiej bryły (przenikającej się z pierwszą), a następnie odwrócenie zadania czyli wyznaczanie punktów przebiecia ścian pierwszej bryły przez krawędzie drugiej bryły. Uzyskane w wyniku obu tych konstrukcji punkty przebiecia łączy się ze sobą tworząc łamaną linię przenikania obu brył. Przykład przenikania dwóch prostopadłościanów w rzutach prostokątnych



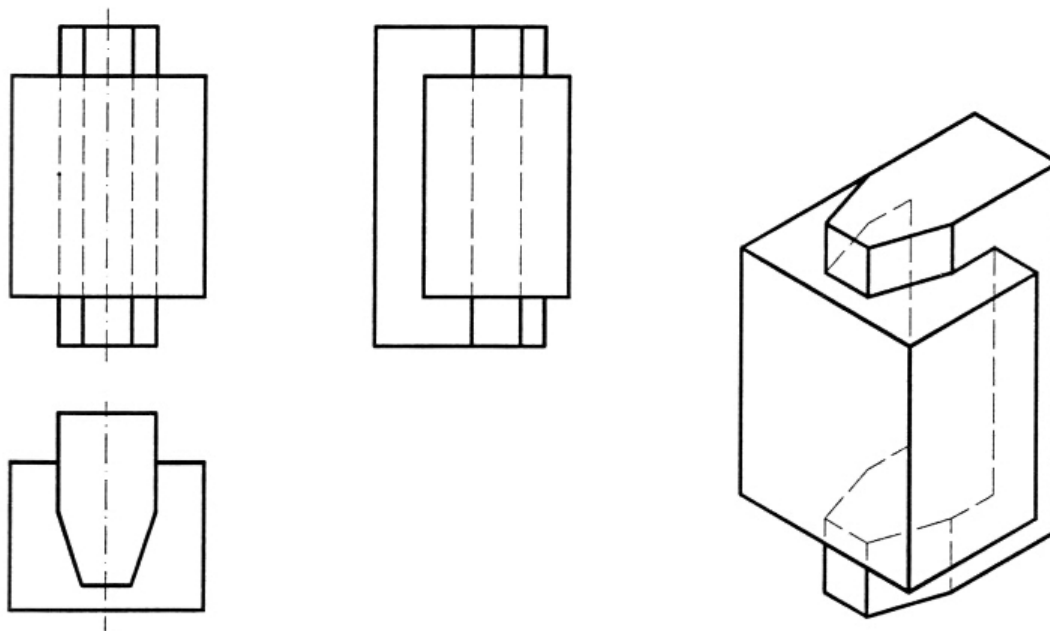
Rys. 2.39a. Przenikanie dwóch prostopadłościanów



Rys. 2.39b. Przenikanie ostrosłupa z prostopadłościanem

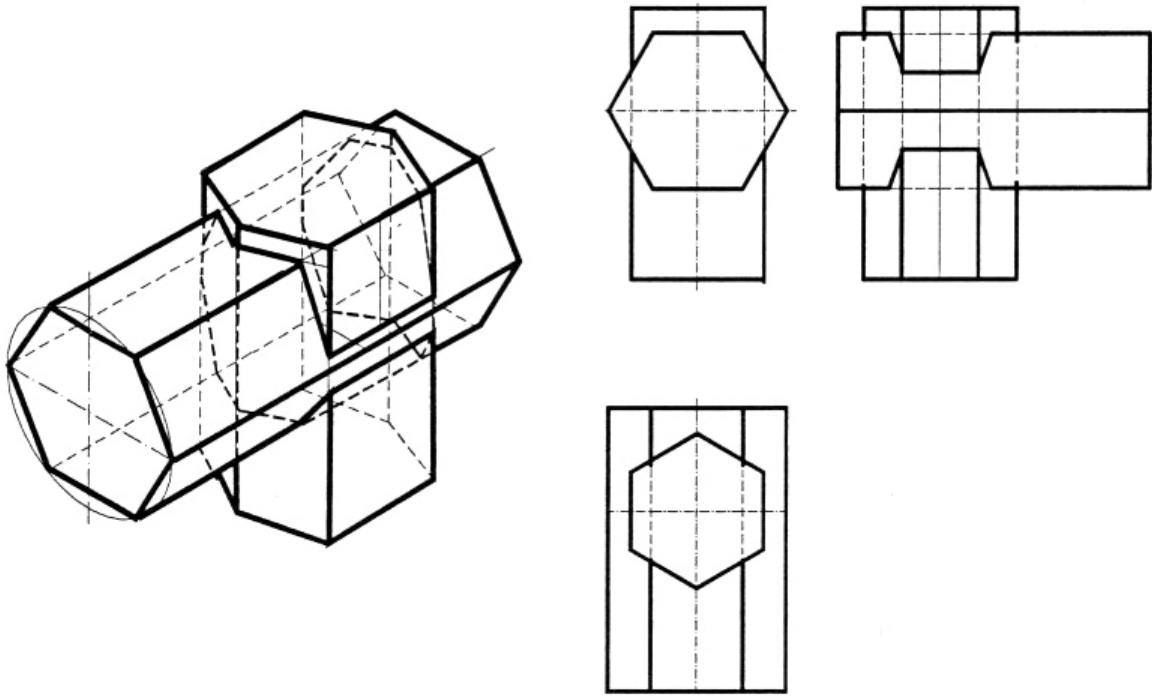
W izometrii przedstawiono na rysunku 2.39a, natomiast linią przenikania jest linia łamana $A21CD34B$.

Na rysunku 2.40 przedstawiono przenikanie dwóch brył, prostopadłościanu i graniastosłupa o skośnych ściankach.



Rys. 2.40. Przenikanie prostopadłościanu i graniastosłupa

Przenikanie dwóch graniastosłupów o przekroju sześciokąta foremnego (6kt) przedstawiono na rysunku 2.41. Przykład ten ilustruje przenikanie dwóch graniastosłupów prostych o przekrojach sześciokątów foremnych i wzajemnie prostopadłych wzdłużnych osiach symetrii. Linia przenikania obu tych brył złożona jest z dwóch odrębnych gałęzi przestrzennej linii łamanej.



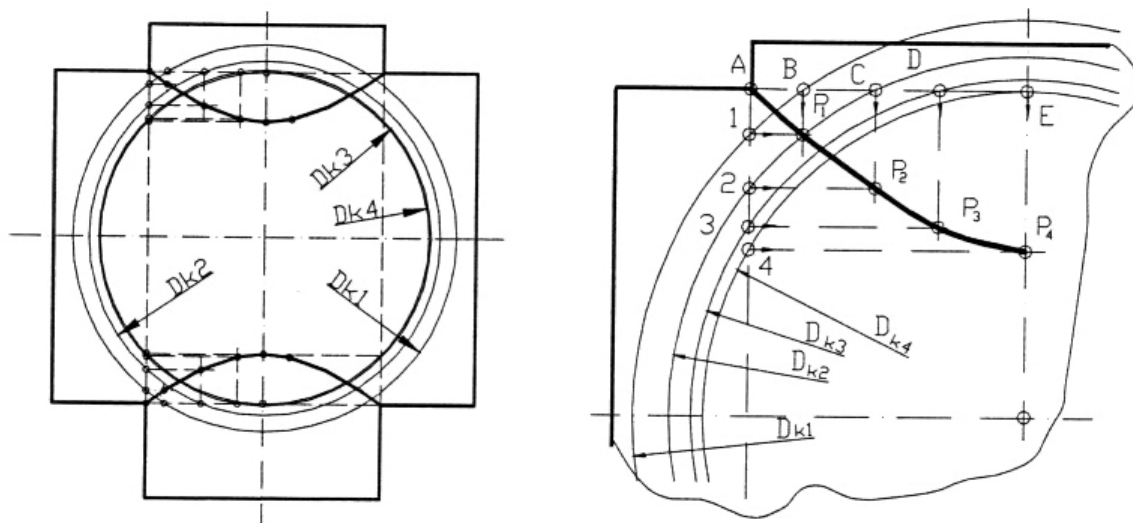
Rys. 2.41. Przenikanie dwóch graniastosłupów o przekroju sześciokąta foremnego

2.6.2. Przenikanie brył obrotowych

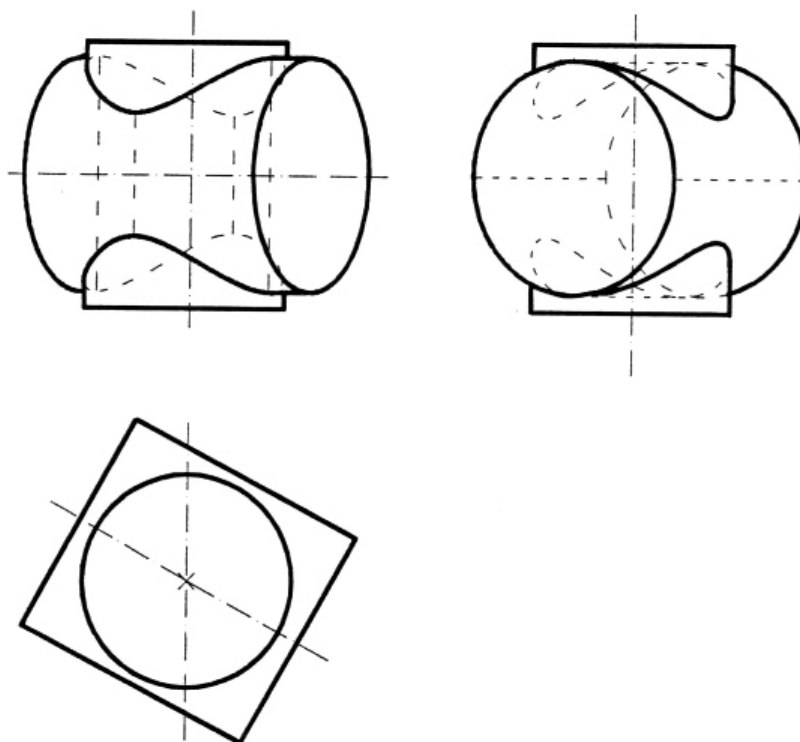
Przenikanie brył obrotowych, np. wzajemne przenikanie walców, wzajemne przenikanie stożków lub stożków i walców przy położeniach centrycznych, tzn. gdy osie symetrii obu brył leżą w jednej płaszczyźnie, można wyznaczyć metodą cięcia kul współśrodkowych.

Przykład wzajemnego przenikania dwóch walców przedstawiono na rysunku 2.42a. Przenikające się walce o prostopadłych osiach symetrii przecina się kilkoma kulami współśrodkowymi o średnicach $D_{k1}, D_{k2}, D_{k3}, \dots$ wykreślonych ze środka wyznaczonego przez przecinające się osie symetrii walców. W wyniku przecinania się okręgów o średnicach D_{k1}, D_{k2}, D_{k3} z zarysami skrajnych tworzących walców (linie kreskowe) uzyskuje się punkty 1, 2, 3, ... oraz A, B, C, Prowadząc prostopadłe linie odnoszące, np. od punktów 1 i A, 2 i B, 3 i C, ..., które przecinają się wzajemnie, uzyskuje się punkty $P_1, P_2, P_3, \dots$, które po połączeniu linią (krzywą) wyznaczają zarys szukanej linii przenikania walców.

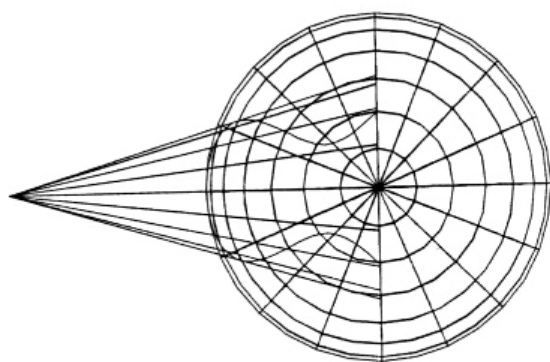
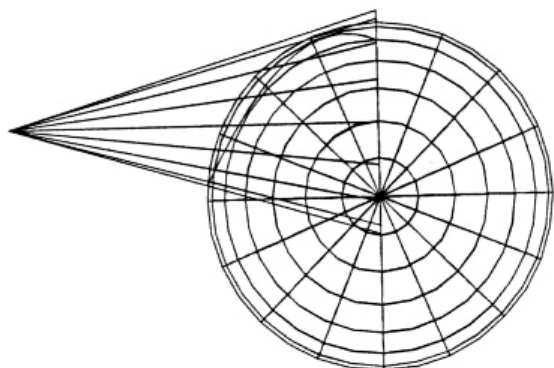
Na rysunku 2.42 zilustrowano jak zmienia się w rzutach prostokątnych wygląd linii przenikania dwóch walców o osiach wzajemnie prostopadłych i leżących w jednej płaszczyźnie równoległej do rzutni pionowej (rys. 2.42a) oraz przenikanie walców o identycznie położonych osiach, lecz leżących w płaszczyźnie nachylonej do rzutni pionowej pod kątem $< 90^\circ$ (rys. 2.42b).



Rys. 2.42a. Przenikanie dwóch walców



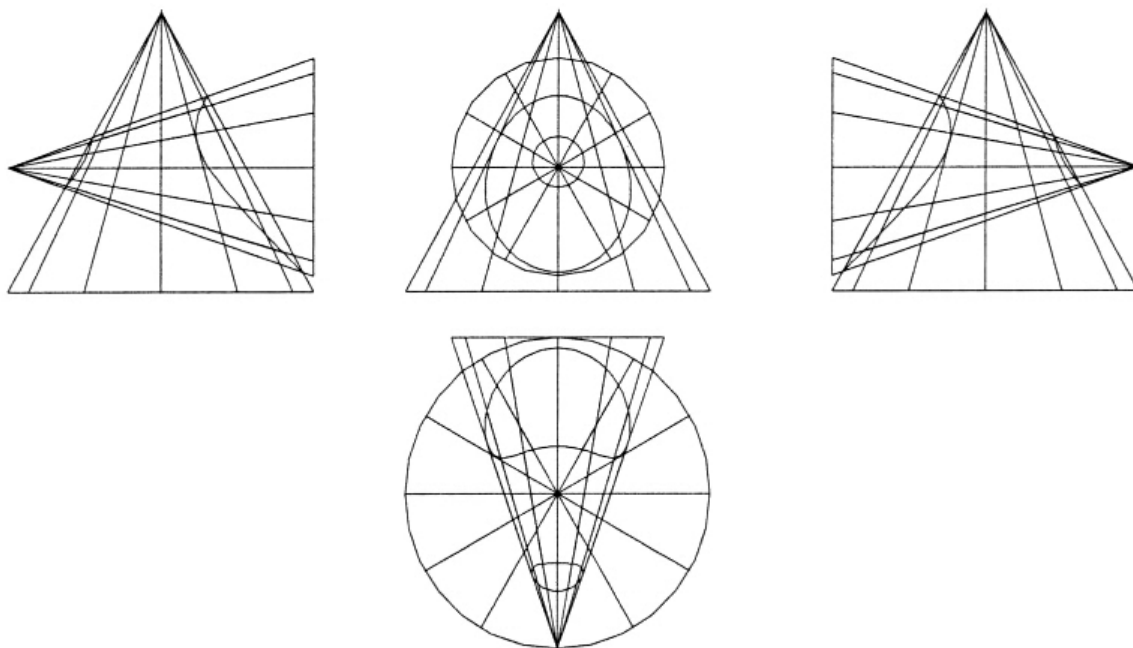
Rys. 2.42b. Przenikanie dwóch walców o skośnym położeniu do rzutni pionowej



Rys. 2.43. Przenikanie dwóch brył obrotowych – stożka i kuli

Na rysunku 2.43 przedstawiono przenikanie dwóch brył obrotowych, stożka i kuli w trzech rzutach prostokątnych, przy czym oś symetrii stożka jest pozioma. Stożek częściowo wnika w obszar kuli, a linia przenikania składa się z nieregularnej krzywej przestrzennej, leżącej na poboczniczy stożka oraz części łuku kołowego, leżącego na podstawie stożka.

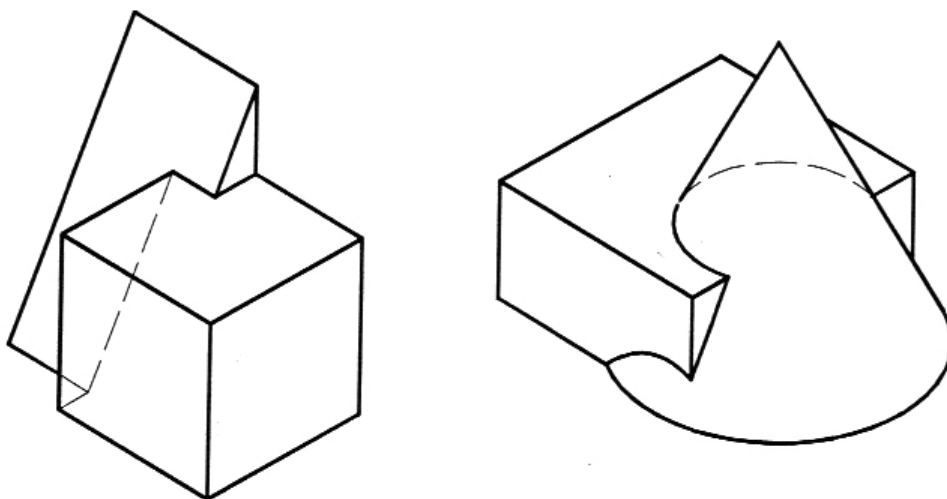
Przenikanie dwóch stożków prostych kołowych o przecinających się osiach symetrii i leżących w jednej płaszczyźnie równoległej do rzutni bocznej przedstawiono na rysunku 2.44. Linia przenikania składa się w tym przypadku z dwóch gałęzi linii przestrzennych leżących na pobocznicach stożków, jedna gałąź o większym obwodzie znajduje się od strony podstaw stożków, a druga gałąź o obwodzie mniejszym – od strony wierzchołków stożków.



Rys. 2.44. Przenikanie dwóch stożków prostych kołowych

2.6.3. Przenikanie brył obrotowych z płaskościennymi

W przykładzie podanym na rysunku 2.45 przedstawiono przenikanie prostopadłościanu i klina oraz prostopadłościanu i stożka kołowego. Linia przenikania prostopadłościanu i klina jest linią łamaną przestrzenną, natomiast w przypadku przenikania prostopadłościanu i stożka linia przenikania jest złożona z fragmentów linii krzywych, tzn. z części okręgu powstałej w wyniku przecięcia pobocznicy stożka płaszczyzną równoległą do podstawy oraz dwóch par części hiperboli jako wynik przecięcia pobocznicy stożka z płaszczyznami pionowymi prostopadłościanu.

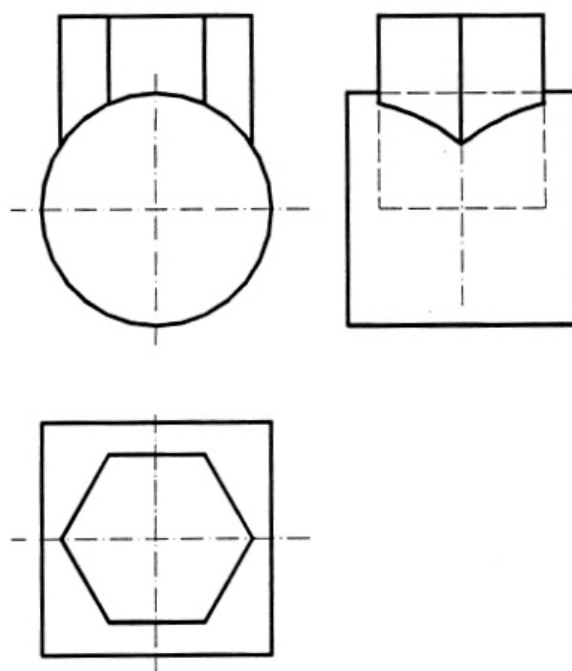


Rys. 2.45. Przenikanie prostopadłościanu i klina oraz prostopadłościanu i stożka kołowego

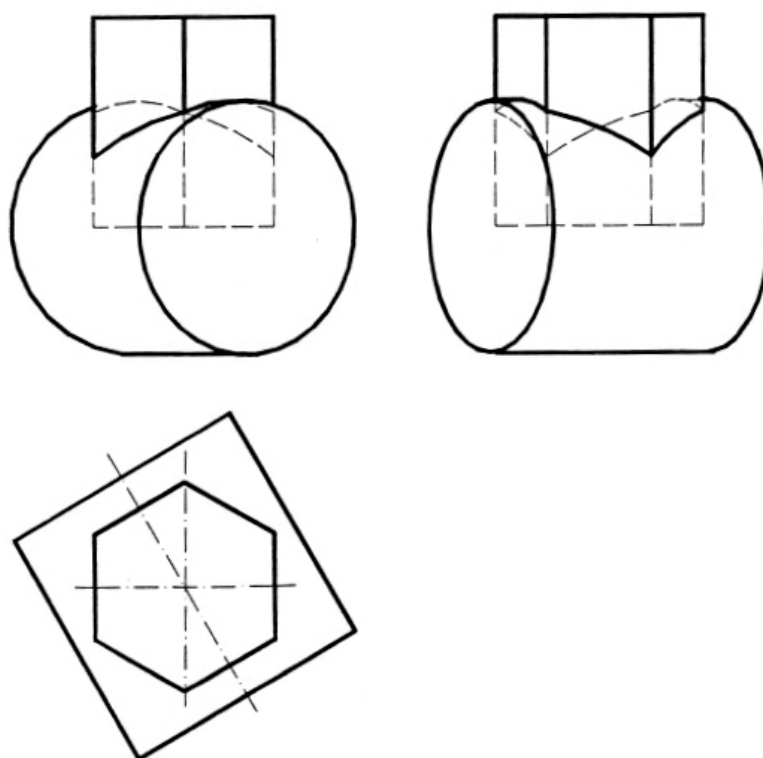
Przenikanie ostrosłupa o podstawie sześciokąta foremnego przebiegającego centrycznie walec poziomy (osie symetrii obu brył leżą w jednej płaszczyźnie) przedstawiono na rysunku 2.46. W rzucie bocznym widoczny jest jeden fragment linii przenikania złożonej z dwóch części elips, a w rzucie głównym widoczna jest część okręgu.

Przenikanie tych samych brył (ostrosłupa z walcem) o centrycznym wzajemnym położeniu, lecz skośnym ustawieniu walca względem rzutni przedstawiono na rysunku 2.47.

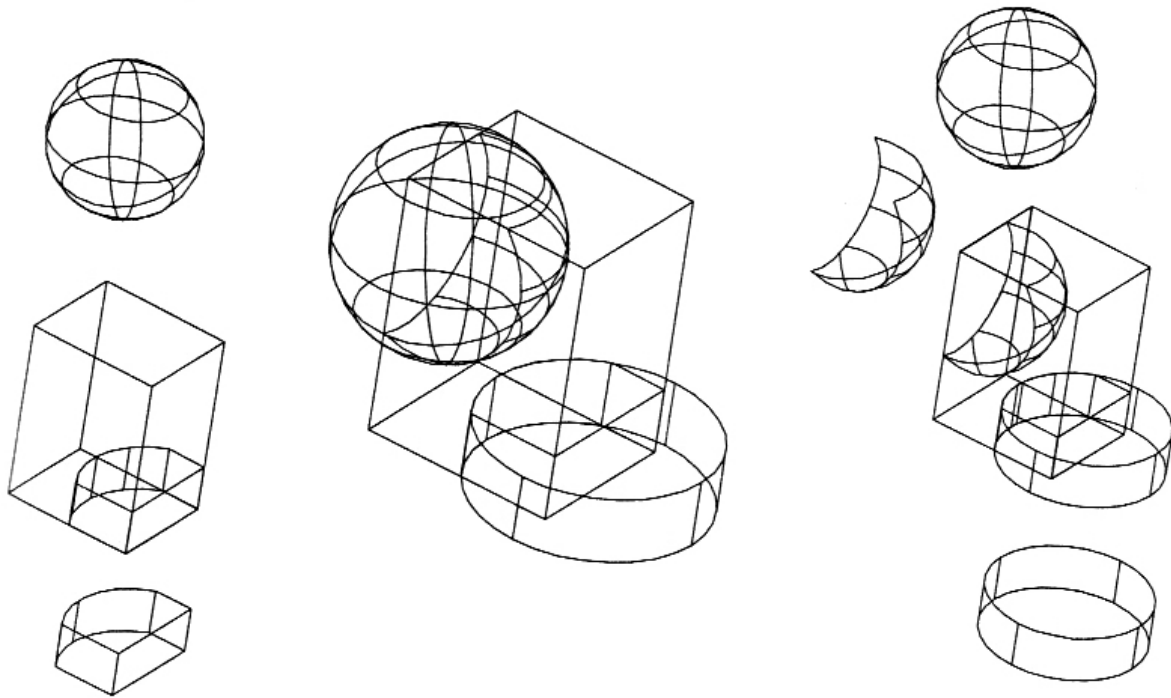
Na rysunku 2.48 przedstawiono przenikanie trzech brył: walca, kuli i prostopadłościanu. Linia przenikania – to dwie gałęzie złożone z krzywych i linii łamanej. Pierwsza gałąź linii przenikania kuli i prostopadłościanu składa się z trzech łuków okręgów leżących w trzech płaszczyznach bocznych prostopadłościanu, obejmujących jeden z narożników prostopadłościanu. Drugą gałąź linii przenikania stanowią trzy odcinki prostych połączonych łukiem okręgu o promieniu walca.



Rys. 2.46. Przenikanie graniastosłupa o podstawie sześciokąta foremnego z walcem



Rys. 2.47. Przenikanie graniastosłupa z walcem o skośnym ustawieniu walca względem rzutni



Rys. 2.48. Przenikanie trzech brył: walca, kuli i prostopadłościanu

Rozdział 3

Elementy zapisu graficznego konstrukcji

Polskie Normy dotyczące rysunku technicznego i maszynowego są ustanawiane przez Polski Komitet Normalizacji i obowiązują na terenie kraju. Rezultatem współdziałania Polskiego Komitetu Normalizacji z Międzynarodowym Komitetem Normalizacji są wprowadzane normy międzynarodowe ISO, które obowiązują w każdym kraju stowarzyszonym w organizacji międzynarodowej.

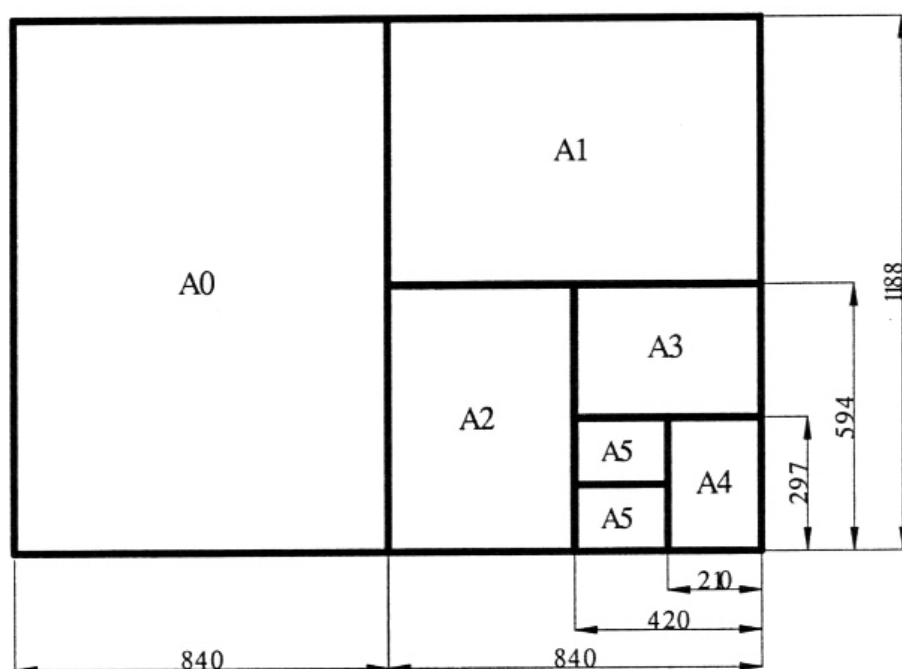
W poprzednich rozdziałach przedstawiono ogólne zasady dotyczące graficznego zapisu konstrukcji. Omówiono znormalizowane elementy zapisu graficznego związane z tworzeniem dokumentacji projektowej lub konstrukcyjnej. Normalizacja obejmuje ważniejsze elementy rysunków technicznych, takie jak:

- formaty arkuszy rysunkowych,
- pismo techniczne,
- podziałki rysunkowe,
- linie rysunkowe,
- tabliczki rysunkowe,
- rzutowanie aksonometryczne,
- rzutowanie prostokątne,
- wymiarowanie,
- uproszczenia rysunkowe.

3.1. Formaty arkuszy rysunkowych

Zasadniczym formatem arkusza rysunkowego jest format **A4** o wymiarach 210×297 mm, tj. 1/16 część formatu **A0** (o powierzchni 1 m²). Formaty podstawowe (**A5**, **A3**, **A2**, **A1**, **A0**) oraz formaty pochodne powstają przez odpowiednie zwielokrotnienie (powiększenie boków formatu **A4**) dla formatów **A3**, **A2**, **A1**, **A0** lub podzielenie (zmniejszenie boków formatu **A4**) dla formatu **A5**, jak przedstawiono na rysunku 3.1.

Otrzymywanie odpowiednich formatów arkuszy rysunkowych przy tworzeniu rysunku za pomocą programu AutoCADa polega na zastosowaniu znormalizowanych gotowych szablonów rysunkowych programu zaopatrzonych w ramkę i tabelkę rysunkową. Istnie-



Rys. 3.1. Tworzenie formatów rysunkowych

je również możliwość tworzenia szablonów według własnych wzorów, nie odpowiadającym ogólnie przyjętym standardom.

Szczegółowe dane dotyczące formatów rysunkowych zawierają prace [1, PN-80/N-01612].

3.2. Linie rysunkowe

Rodzaje linii rysunkowych stosowanych w rysunkach technicznych zamieszczono w tabeli 3.1.

Gradację grubości linii stosuje się w zależności od wielkości rysunku i rysowanych obiektów, stopnia złożoności oraz przeznaczenia rysunku, przy czym na tym samym arkuszu i przy tej samej podziałce rysunkowej obowiązuje jednakowa grubość linii rysunkowych. Grubość linii zaleca się dobierać w zależności od liczby szczegółów i wielkości formatu arkusza, np. dla formatu A4 szerokość linii grubej wynosi 0,5 mm.

Uprzywilejowane wartości grubości linii (grupa 2 i 3), stosowane w dokumentacjach projektowo-konstrukcyjnych, zawiera tabela 3.2.

Tabela 3.1. Rodzaje linii rysunkowych

Rodzaj linii	Bardzo gruba	Gruba	Cienka
Ciągła			
Kreskowa			
Punktowa			
Dwupunktowa			
Falista			
Zygzakowa			

Tabela 3.2. Zalecane grubości linii rysunkowych (wg PN-82/N-01616)

Nazwa linii / Grupa	2	3	4	5
Bardzo gruba	1,0	1,4	2,0	2,0 ^{*)}
Gruba	0,5	0,7	1,0	1,4
Cienka	0,18	0,25	0,35	0,5

^{*)} zamiast 2,8

Posługując się programem AutoCAD mamy możliwość wyboru różnych rodzajów linii rysunkowych zawartych w bibliotece rodzajów linii oraz możliwość zmiany ich grubości (szerokości) (rozdz. 10).

Najważniejsze zastosowania poszczególnych rodzajów linii rysunkowych:

1. Linia ciągła bardzo gruba

- połączenia klejone i lutowane,
- linie na wykresach.

2. Linia ciągła gruba

- widoczne krawędzie i wyraźne zarysy przekrojów i widoków,
- zarysy kładów przesuniętych,
- ślady płaszczyzny przekrojów i miejsc załamania płaszczyzn przekrojów,
- obramowanie arkusza,
- linie na wykresach.

3. Linia ciągła cienka

- linie wymiarowe,
- pomocnicze linie wymiarowe,

- linie odniesienia,
- kreskowanie przekrojów,
- zarysy kładów miejscowych,
- zarysy rdzeni gwintów,
- zarysy dna rowków wałków wielowypustowych,
- zarysy dna wrębów kół zębatych i ślimaków,
- szereg powtarzających się wgłębień,
- osie kół o średnicy ≤ 12 mm,
- przekątne kwadratów, prostokątów i trapezów powierzchni płaskich w widokach,
- linie przenikania powierzchni łagodnie zaokrąglonych,
- znaki chropowatości,
- linie ograniczające powiększone szczegóły budowy obiektu,
- linie na wykresach.

4. Linia kreskowa

- niewidoczne krawędzie i zarysy przedmiotów,
- linie na wykresach.

5. Linia punktowa gruba

- linie zaznaczające powierzchnie podlegające obróbce cieplej,
- linie na wykresach.

6. Linia punktowa cienka

- osie symetrii,
- linie podziału w kołach zębatych,
- osie okręgów o średnicy ponad 12 mm.

7. Linia dwupunktowa cienka

- skrajne położenie części ruchomych,
- zarysy przedmiotów przyległych,
- pierwotne i ostateczne kształty przedmiotów,
- linie gięcia w rozwinięciu przedmiotów,
- linie osi środków ciężkości.

8. Linia falista cienka

- urwania i przerwania przedmiotów,
- ograniczenie przekrojów cząstkowych.

9. Linia zygzakowa cienka

- urwania i przerwania przedmiotów,
- ograniczenie przekrojów cząstkowych.

Wiele szczegółów dotyczących posługiwania się różnymi rodzajami linii i sposobem ich wykreślenia można znaleźć w pracy [1] oraz w normie PN-82/N-01616.

3.3. Pismo techniczne

Rysunki techniczne opisuje się stosując pismo techniczne oraz znormalizowane znaki i symbole. Polska norma PN-80/N-01606 określa dwa rodzaje pisma A i B, z alfabetem łacińskim i greckim, proste i pochyłe (pochylone pod kątem 75° do poziomu), które różnią się proporcjami w wysokościach małych i dużych liter. Zalecane wysokości pisma w zależności od rodzaju rysunku podano poniżej w tabeli 3.3 na podstawie pracy [1].

W komputerowym zapisie graficznym, do opisywania rysunków technicznych stosuje się edytory tekstu (jedno lub wielowierszowe) zawierające różnego rodzaju czcionki i symbole, które stanowią integralną część programu graficznego. Sposób posługiwania się edytorem tekstu w programie AutoCAD LT 2002 podano w rozdz. 10.

Tabela 3.3. Wysokość pisma technicznego

Format arkusza	Wysokość pisma h [mm]			
	Napisy główne	Napisy pomocnicze	Napisy podrzędne	Wymiarowanie Uwagi
A0 i większe	14 i 10	10 i 7	7 i 5	5 i 3,5
A1 i A2	10 i 7	7 i 5	5 i 3,5	3,5 i 2,5
A3 i A4	7 i 5	5 i 3,5	3,5 i 2,5	3,5 i 2,5

3.4. Podziałki rysunkowe

Podziałka rysunkowa jest stosunkiem liczbowym wymiarów liniowych obiektu przedstawionego na rysunku, do wymiarów rzeczywistych obiektu. W rysunku technicznym stosuje się znormalizowane podziałki:

- powiększające ... 100:1, 50:1, 20:1, 10:1, 5:1, 2:1
 - naturalna 1:1
 - pomniejszające 1:2, (1:2.5), 1:5, 1:10, (1:15), 1:20, (1:25), 1:50, 1:100, 1:200, 1:500, ...
- przy czym podziałki podane w nawiasach są dopuszczalne, lecz nie zalecane przez normę PN-80/N-01610.

Na rysunku wyróżnia się *podziałkę główną*, dotyczącą większości elementów przedstawionych na arkuszu, umieszczoną w tabliczce rysunkowej oraz *podziałkę pomocniczą*, która dotyczy tylko wybranych szczegółów rysunkowych (fragmentów obiektu, np. widoków lub przekrojów cząstkowych), wpisywaną nad odpowiednim rzutem.

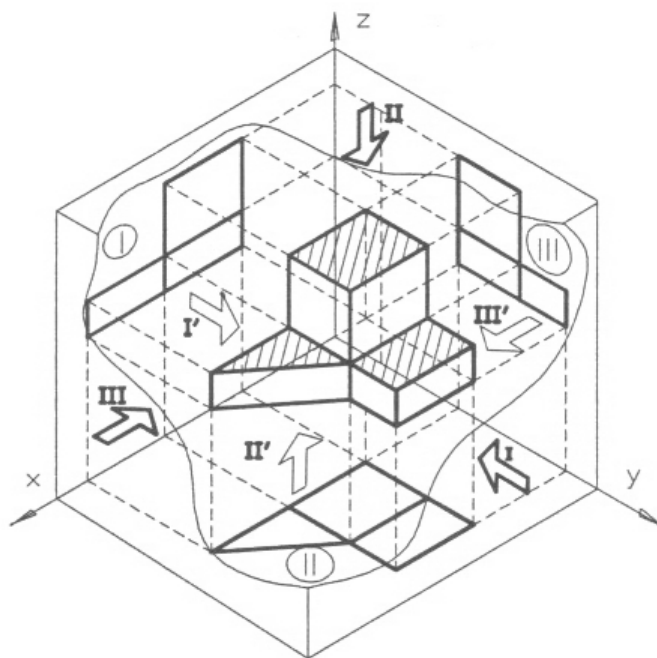
Modele graficzne obiektów tworzone w programie AutoCAD są rysowane w jednostkach rysunkowych i mogą być przedstawiane w podziałce naturalnej (1:1), niezależnie od rzeczywistej wielkości obiektu. W razie potrzeby można dokonać przeskalowania całego rysunku lub jego fragmentów podczas tworzenia rysunku lub bezpośrednio przed jego wydrukiem.

Rozdział 4

Rzutowanie prostokątne

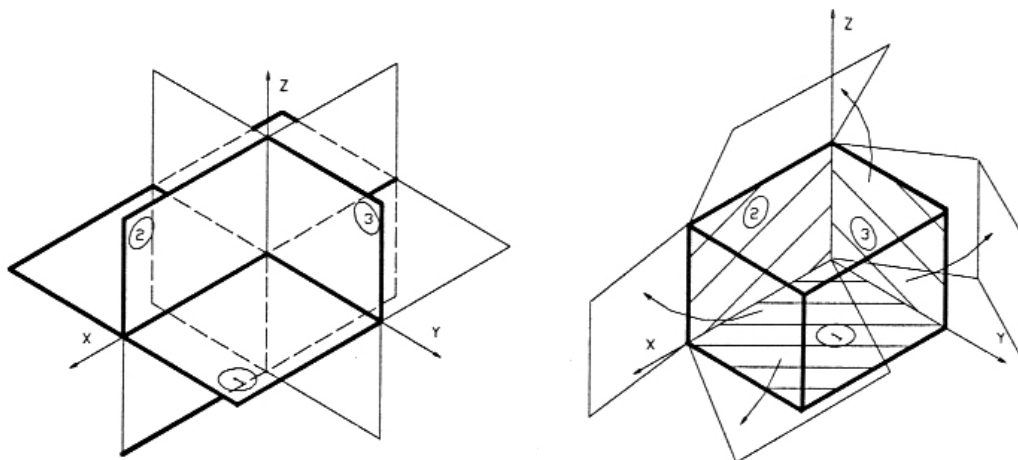
Rzutowanie prostokątne jest podstawowym rodzajem rzutowania powszechnie stosowanym w graficznym zapisie konstrukcji. O zaletach rzutowania prostokątnego w stosunku do rzutowania aksonometrycznego wspomniano w rozdziale 2. Podstawą rzutowania prostokątnego jest przestrzenny układ odniesienia utworzony przez sześć wzajemnie prostopadłych rzutni, tworzących ściany wyobraźnego prostopadłościanu, wewnątrz którego umieszcza się model (obiekt) do rzutowania (wg PN-78/N-01608).

Na rysunku 4.1 oznaczono trzy rzutnie podstawowe (płaszczyzny I, II, III), na których tworzy się trzy podstawowe rzuty prostokątne: I – rzut pionowy, II – poziomy, III – boczny (kierunki rzutowania oznaczono strzałkami).



Rys. 4.1. Układ odniesienia rzutów prostokątnych

Sposób rozwinięcia przestrzennego układu rzutów prostokątnych i przejścia do układu płaskiego przedstawiono na rysunku 4.2.



Rys. 4.2. Tworzenie układu rozwiniętego rzutów prostokątnych

Rozcinając w wyobraźni prostopadłościan wzdłuż odpowiednich krawędzi i obracając jego ściany, uzyskujemy układ rzutni sprowadzony do jednej płaszczyzny.

4.1. Układ rzutów europejskich (E)

Normalny układ rzutów prostokątnych, sprowadzony do jednej płaszczyzny, utworzony z sześciu rzutni wraz z przyjętymi nazwami rzutów przedstawia rysunek 4.3.

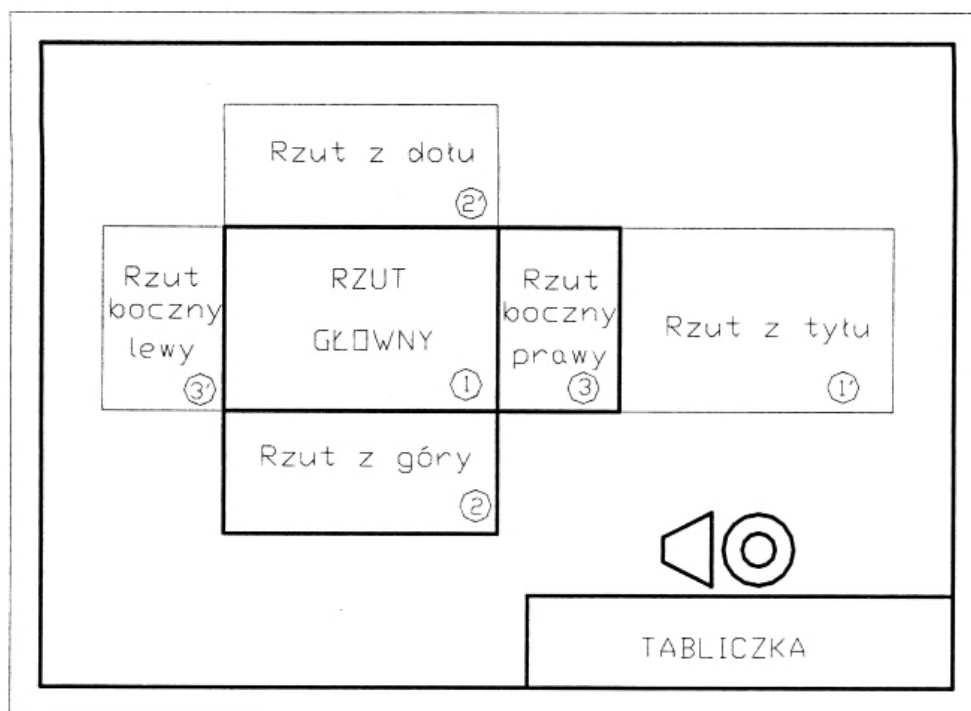
Nazwy poszczególnych rzutów w układzie europejskim są następujące:

- I – rzut główny (widok z przodu),
- II – rzut z góry (widok z góry),
- III – rzut boczny prawy (widok od lewej strony),
- III' – rzut boczny lewy (widok od prawej strony),
- II' – rzut z dołu (widok z dołu),
- I' – rzut z tyłu (widok z tyłu).

Rzuty prostokątne modelu rozmieszcza się na arkuszu rysunku zgodnie z normalnym układem rzutów (rys. 4.3) i powinny one leżeć na tych samych prostych odnoszących.

Oznaczenie rysunku wykonanego zgodnie z układem europejskim (E) przedstawia się za pomocą symbolu stożka ściętego przedstawionego w dwóch rzutach lub litery E, umieszczonych w tabliczce rysunkowej lub nad tabliczką. Rzuty tak wykonane nie wymagają żadnych dodatkowych objaśnień i symboli.

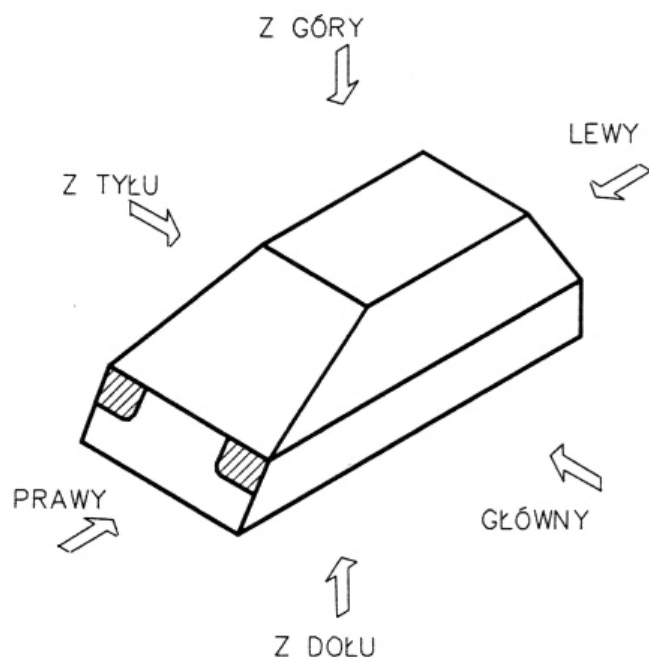
W wyjątkowych przypadkach dopuszcza się odmienne rozmieszczenie rzutów na arkuszu rysunku (w innym ułożeniu), np. przez przesunięcie, zamianę lub obrót rzutów, lecz wtedy konieczne jest uzupełnienie przemieszczonego rzutu dodatkowymi symbolami, np. literą i strzałką lub symbolem obrotu wskazującymi kierunek rzutowania lub obrotu.



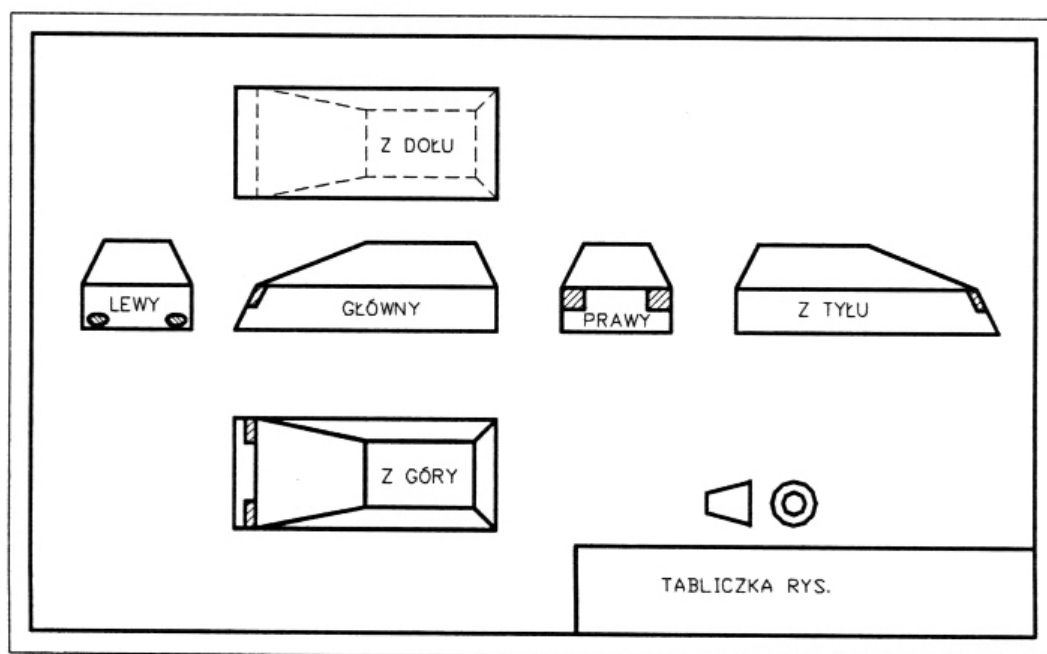
Rys. 4.3. Znormalizowany układ rzutów prostokątnych E (europejski)

Jeżeli poszczególne rzuty przedmiotu narysowane są na oddzielnych arkuszach, to na arkuszu zawierającym rzut główny należy oznaczyć kierunki rzutowania tych widoków lub przekrojów (za pomocą dużej litery i strzałki) oraz numeru arkusza, na którym są one umieszczone.

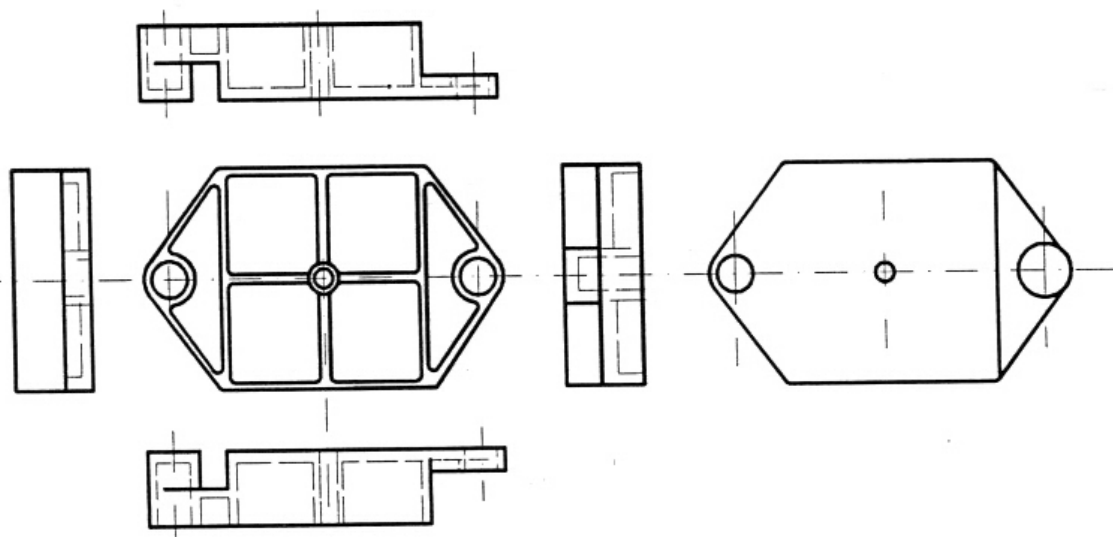
Przykłady rzutowania modeli przedstawionych w sześciu rzutach prostokątnych zamieszczono na rysunkach 4.4–4.6, przy czym kierunki rzutowania zgodnie z zasadą E oznaczono strzałkami.



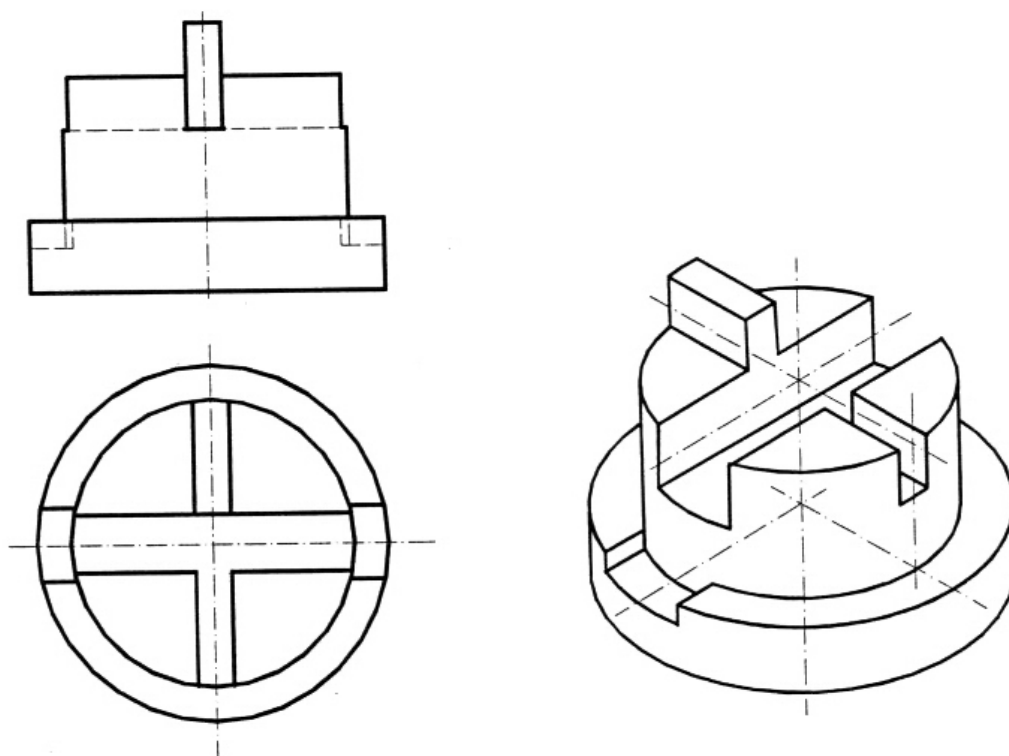
Rys. 4.4a. Rzut izometryczny modelu pryzmatycznego z oznaczeniem kierunków rzutowania



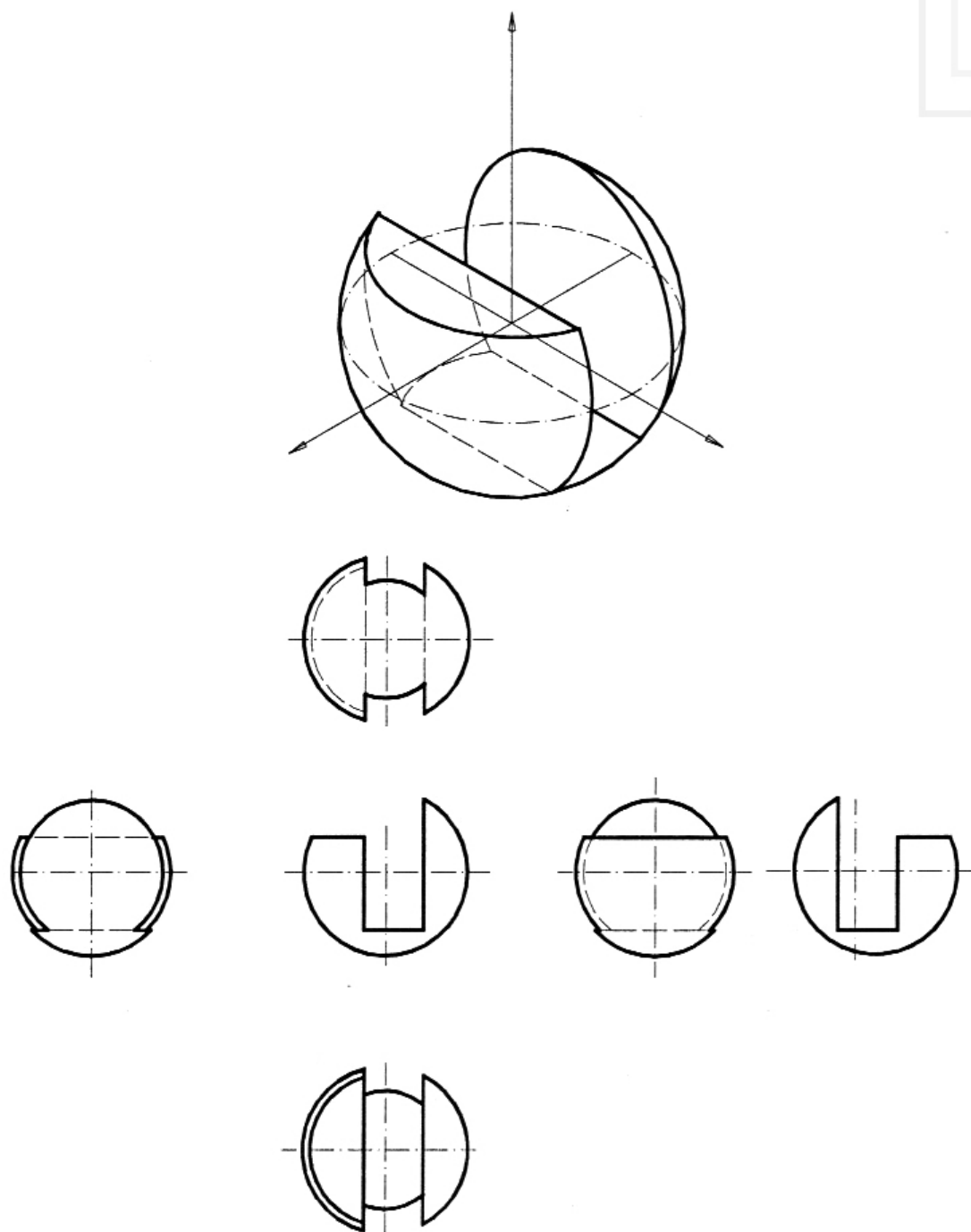
Rys. 4.4b. Rzuty prostokątne modelu pryzmatycznego w układzie E



Rys. 4.5a. Rzuty prostokątne detalu z rysunku 2.7a w układzie E



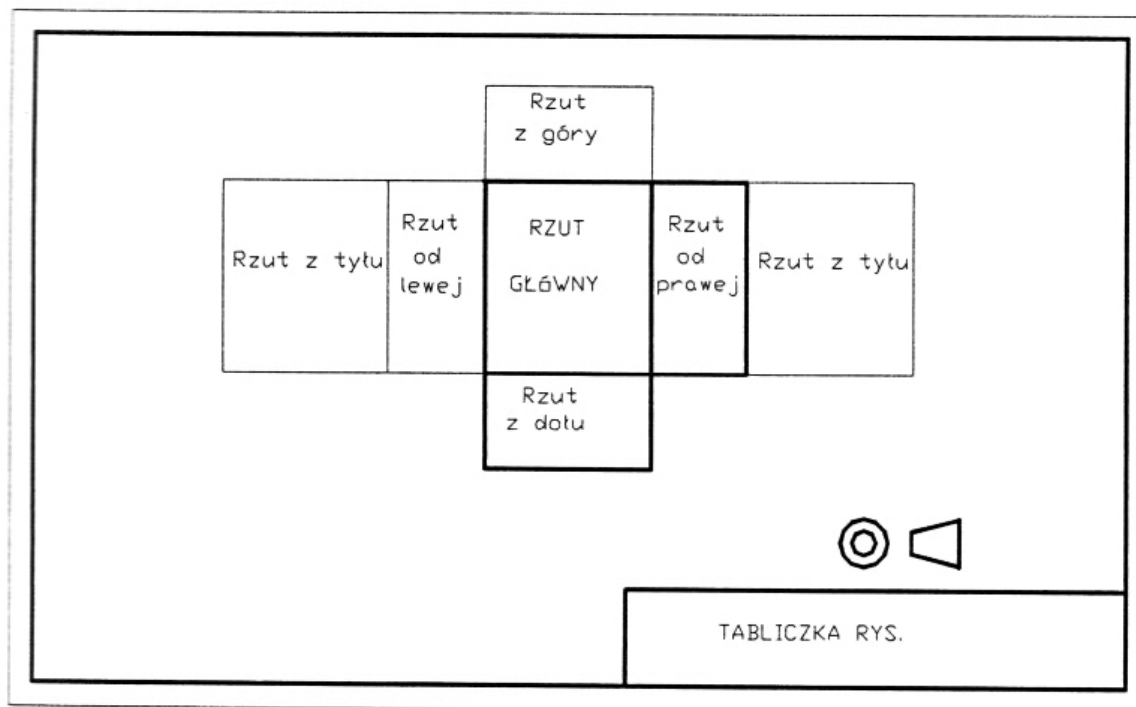
Rys. 4.5b. Rzuty prostokątne detalu obrotowego w układzie E



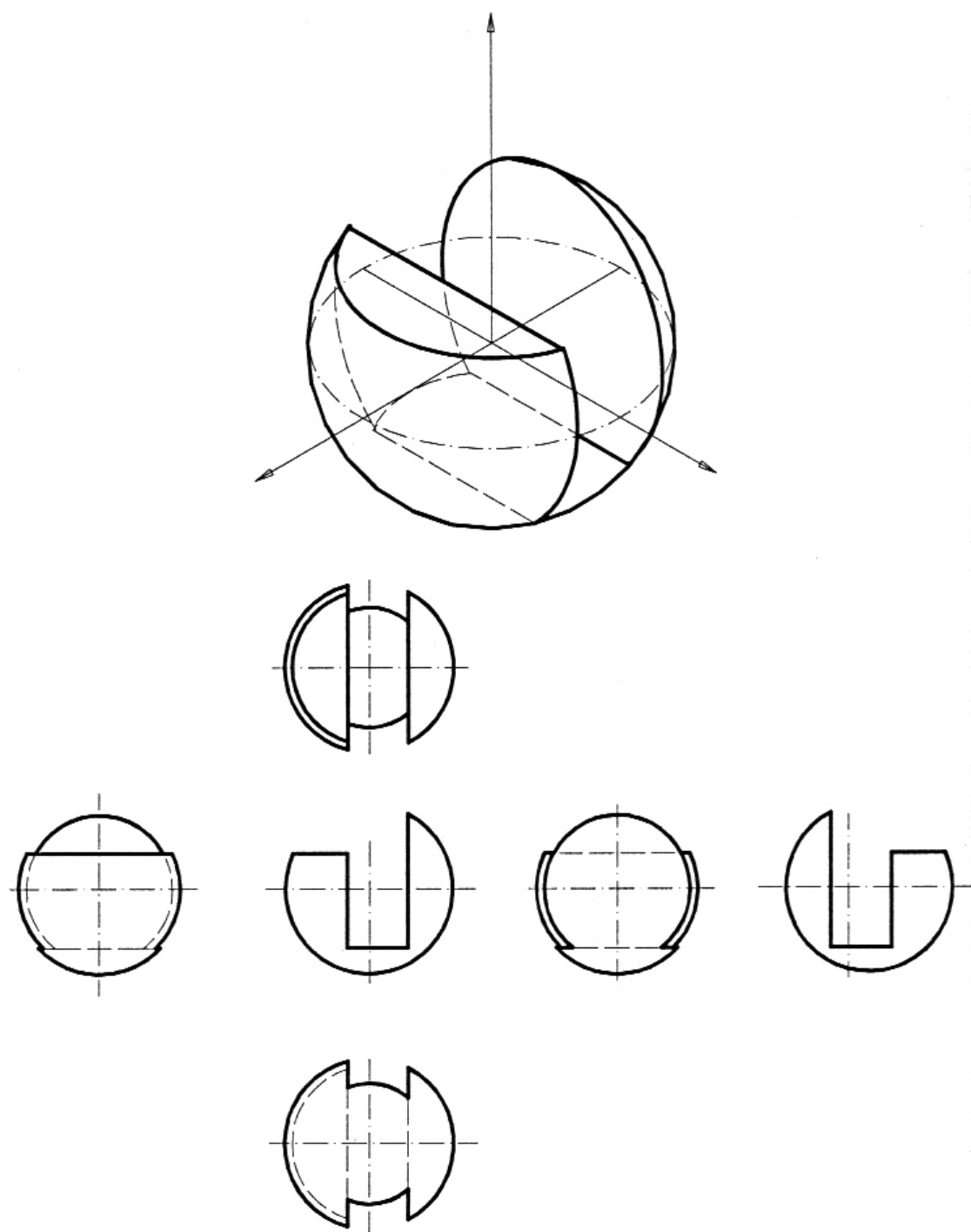
Rys. 4.6. Rzuty prostokątne modelu kulistego w układzie E

4.2. Układ rzutów amerykańskich (A)

W niektórych krajach obowiązuje tzw. amerykański układ rzutów prostokątnych A, w którym stosuje się odmienne niż w układzie E rozmieszczenie rzutów na arkuszu rysunku, przy czym w symbolu oznaczającym układ A rzuty stożka ściętego są przedstawione.



Rys. 4.7. Amerykański układ rzutów prostokątnych (A)



Rys. 4.8. Rzuty prostokątne modelu kulistego w układzie A

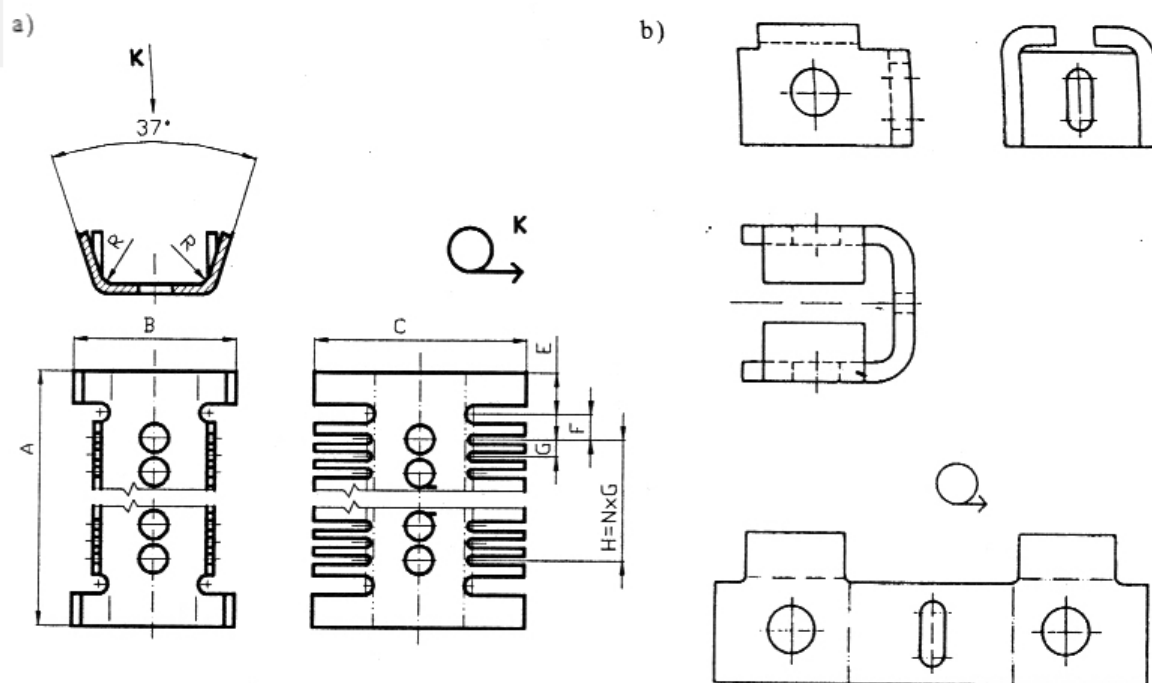
Rozdział 5

Widoki i przekroje

5.1. Widoki

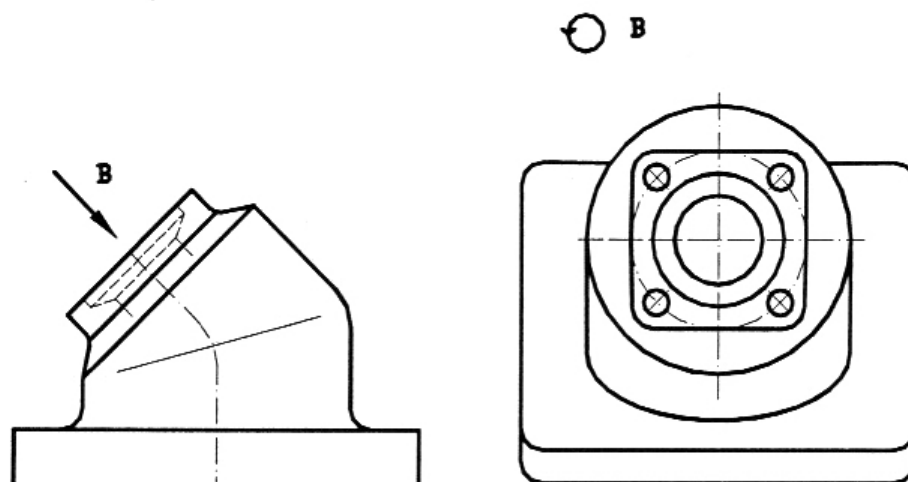
Odwzorowanie w rzutach prostokątnych obiektów przestrzennych nie mających kształtów wewnętrznych wykonuje się w postaci widoków zewnętrznych.

Widoki rozwinięte stosuje się do przedstawiania przedmiotów giętych, zaokrąglonych (walcowych, stożkowych) w rozwinięciu na płaszczyźnie, obrazujące pierwotny kształt przedmiotu (przed zagięciem). Widoki rozwinięte muszą być zaopatrzone w symbol rozwinięcia (rys. 5.1).

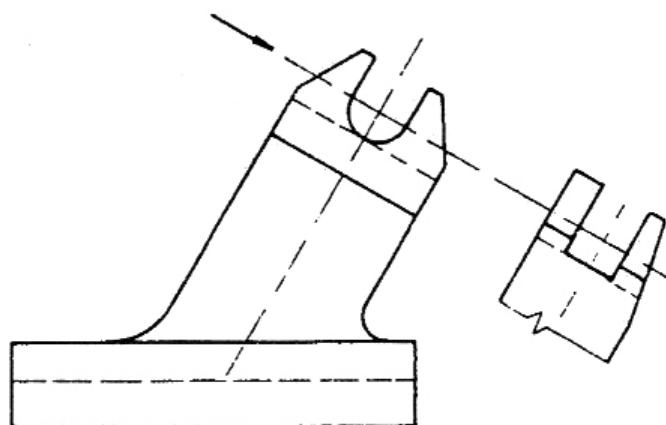


Rys. 5.1. Przykład widoku rozwiniętego

Widoki obrócone są widokami pomocniczymi stosowanymi w celu uproszczenia rysunku i poprawy jego czytelności, dotyczą całości lub tylko części danego rzutu pokazu-



Rys. 5.2a. Przykład widoku obróconego

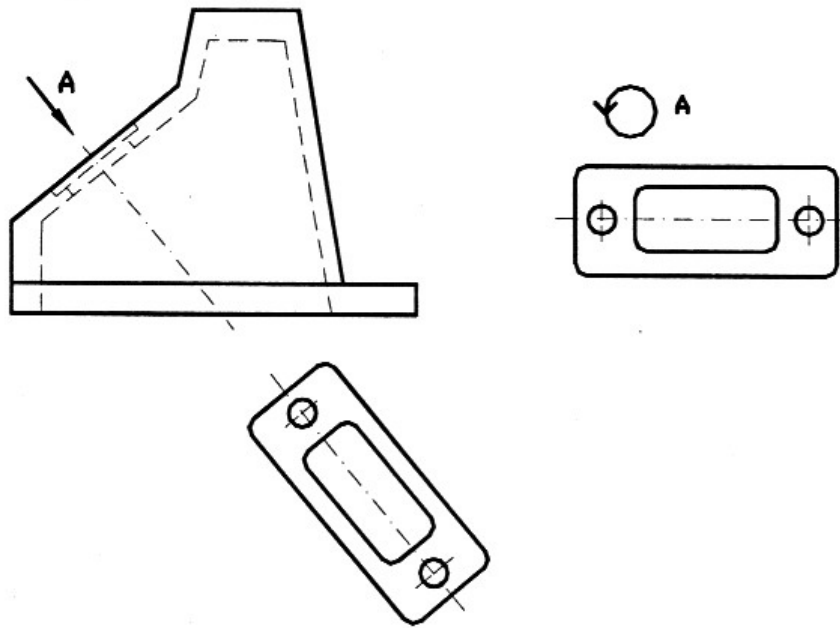


Rys. 5.2b. Przykład widoku przesuniętego

jąc istotne fragmenty przedmiotu. Widoki obrócone można przedstawić jako rzuty obrócone i jednocześnie przesunięte, zaopatrzone w symbole obrotu lub przesunięcia (rys. 5.2a,b).

Widoki cząstkowe są odrębnymi rzutami fragmentów całego widoku, nieograniczone żadną linią od części nienarysowanej przedmiotu. Gdy widok cząstkowy jest narysowany tylko w połowie (do osi symetrii), wówczas jego ograniczenie rysuje się linią punktową.

Jeżeli przedmioty mają kształty wewnętrzne, to zachodzi konieczność przedstawienia ich kształtów na widokach za pomocą linii kreskowych, jako niewidocznych szczegółów budowy. Takie przedstawienie wewnętrznych kształtów jest mało czytelne, niezrozumiałe i nieumożliwia dokładne wymiarowanie przedmiotu. Aby w pełni pokazać kształty wewnętrzne przedmiotu, należy dokonać przekroju, rysując za pomocą linii ciągłych krawędzie wewnętrzne detalu jako krawędzie widoczne, które na rzucie widoku były niewidoczne i zaznaczone linią kreskową.



Rys. 5.3. Przykład widoku cząstkowego

5.2. Przekroje

Przekrój powstaje przez przecięcie wyobraźną płaszczyzną oraz odrzucenie części przedmiotu znajdującą się przed płaszczyzną przekroju. Przekrój zawiera zarysy przedmiotu utworzone w płaszczyźnie przekroju oraz wszystkie widoczne zarysy i krawędzie przedmiotu leżące poza płaszczyzną przekroju.

Liczba rzutów przedmiotu (widoków i przekrojów) powinna być ograniczona do minimum koniecznego do jednoznacznego określenia kształtów i wymiarów. Z możliwych według metody *E* maksymalnie sześciu rzutów, przy mniej złożonych kształtach przedmiotów jego zapis można ograniczyć do mniejszej liczby rzutów, w krańcowym przypadku zapis graficzny można ograniczyć tylko do jednego rzutu – rzutu głównego.

W przypadku bardzo złożonych obiektów może okazać się, że wykonanie nawet sześciu rzutów jest niewystarczające do jednoznacznego odwzorowania kształtów i wymiarów, wówczas konieczne są dodatkowe rzuty uzupełniające.

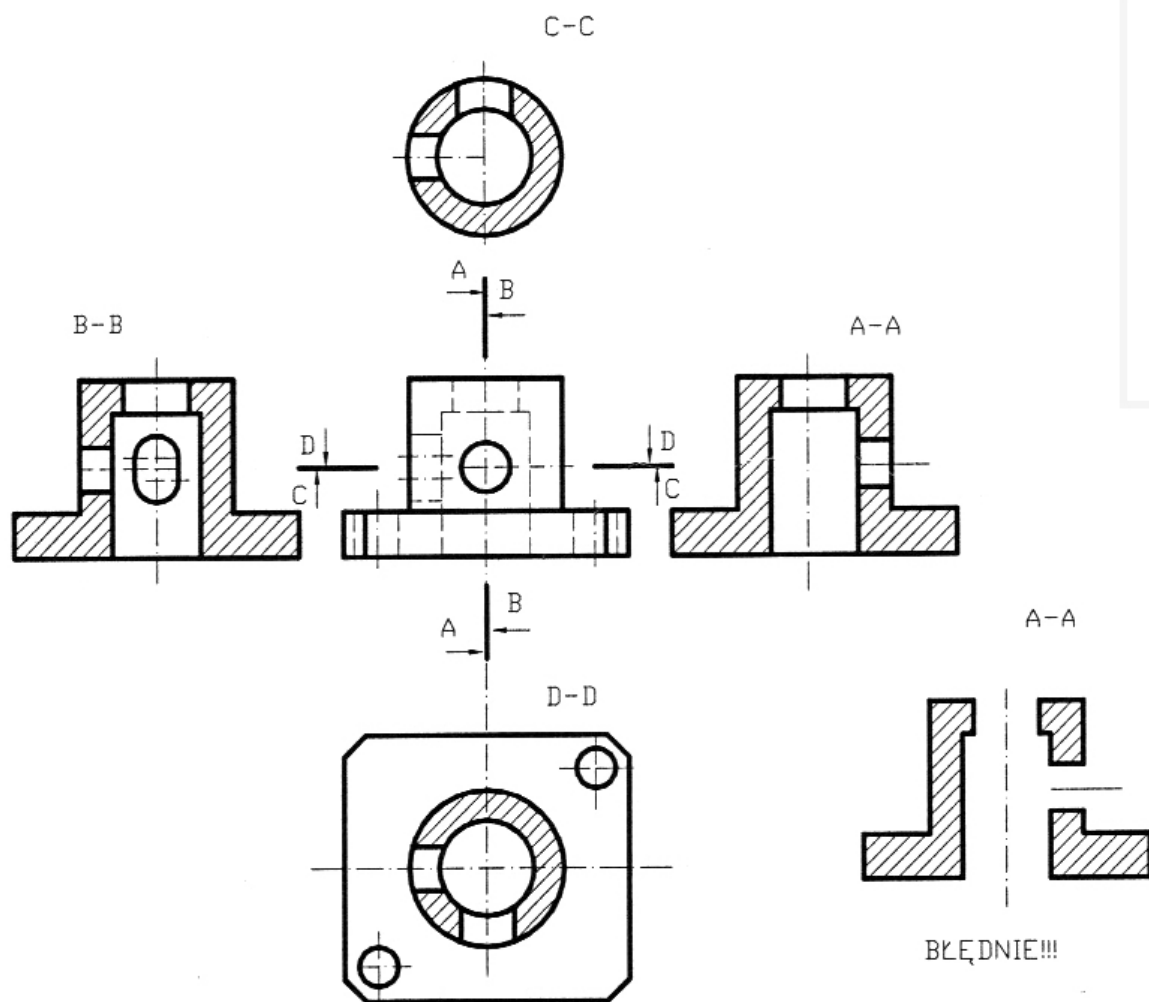
Wykonując zapis obiektu w rzutach prostokątnych, należy:

- ograniczyć liczbę rzutów do niezbędnego minimum,
- ustawić obiekt do rzutowania w taki sposób aby większość płaszczyzn charakterystycznych (ścian), krawędzi, osi była prostopadła lub równoległa do rzutni,
- położenie obiektu w rzucie głównym powinno odpowiadać rzeczywistemu położeniu użytkowemu obiektu od strony, która ma najwięcej cech charakterystycznych; wyjątkowo przedmioty długie, o położeniu użytkowym pionowym, można narysować poziomo, z dolną częścią po prawej stronie, a przedmioty mające położenie użytkowe pośrednie (skośne) można rysować poziomo lub pionowo,

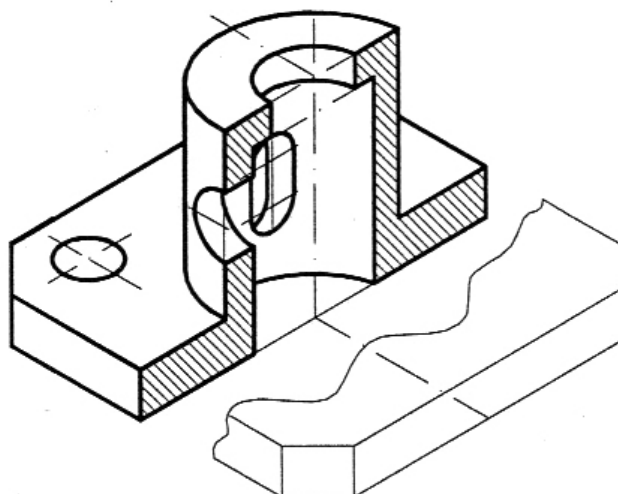
- detale na rysunkach wykonawczych powinny mieć położenie takie, jakie zajmują w czasie obróbki.

5.3. Oznaczanie i kreskowanie przekrojów

Płaszczyznę przekroju oznacza się w rzucie na płaszczyznę do niej prostopadłą za pomocą dwóch grubych kresek i strzałek wskazujących kierunek rzutowania przekroju oraz dwoma dużymi literami alfabetu umieszczonymi obok strzałek. Na rys. 5.4a przedstawiono *przekroje proste* (w jednej płaszczyźnie): A-A – rzut prawy, B-B – rzut lewy, C-C – rzut z dołu, D-D – rzut z góry oraz przykład błędnie wykonanego przekroju A-A. Ilustrację przekroju A-A detalu z rysunku 5.4a przedstawiono w izometrii na rysunku 5.4b.

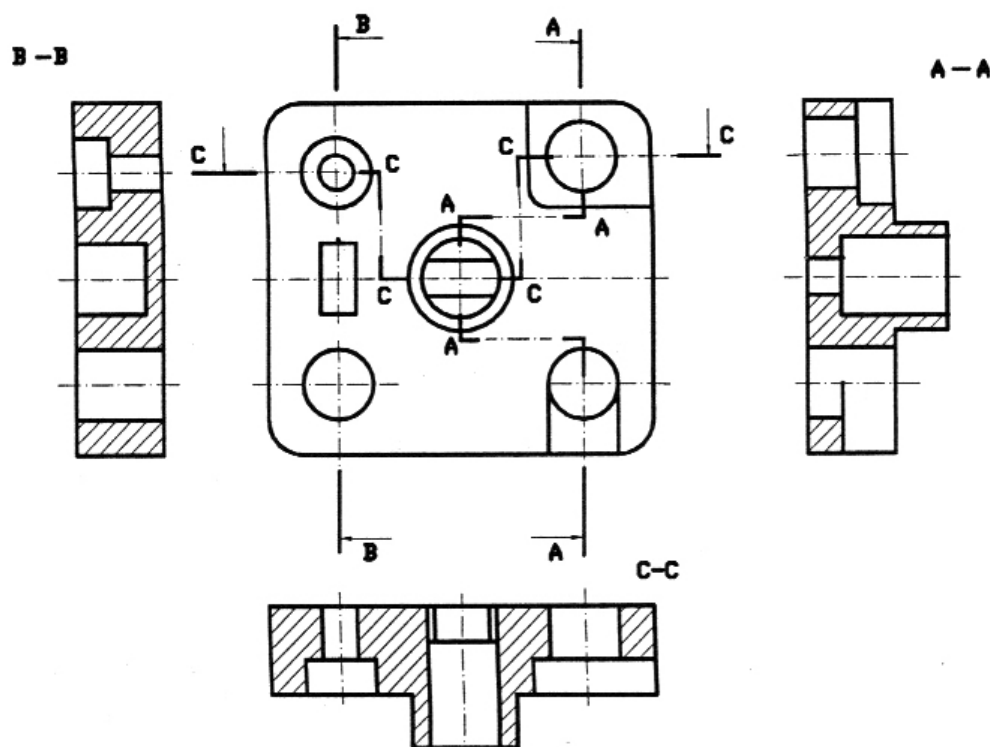


Rys. 5.4a. Oznaczanie i wykonywanie przekrojów prostych

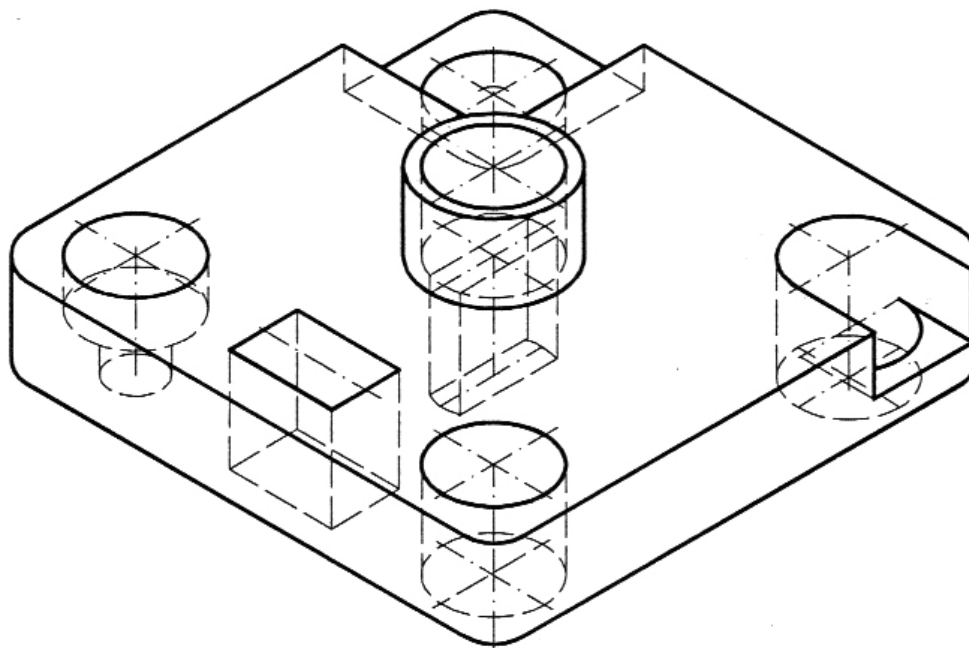


Rys. 5.4b. Przekrój A-A detalu z rysunku 5.4a w izometrii

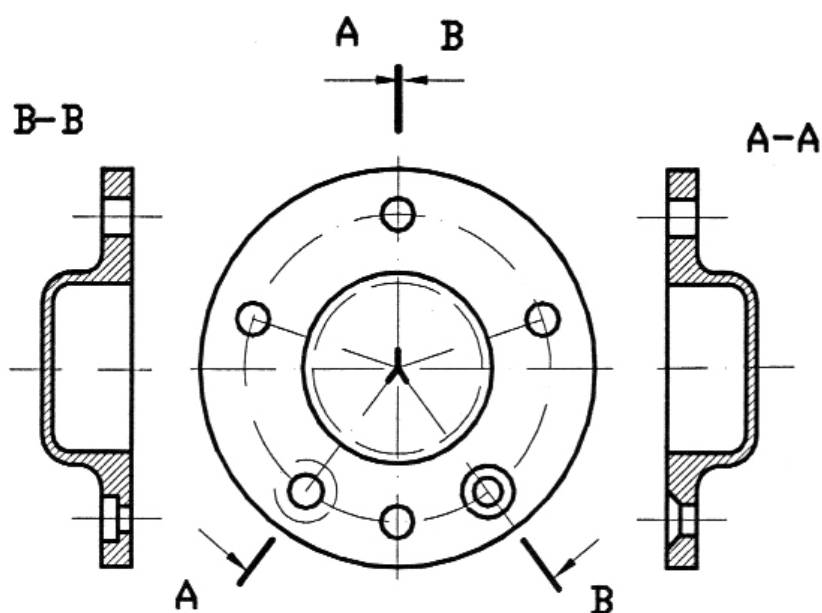
Przekroje otrzymane przez przecięcie przedmiotu więcej niż jedną płaszczyzną nazywamy *przekrojami złożonymi*. Jeżeli ślady płaszczyzn przekroju przebiegają wzdłuż linii łamanej o kątach prostych, to przekrój nazywamy *przekrojem stopniowym* (rys. 5.5a), w odróżnieniu od *przekroju łamanego (obróconego)* o kątach rozwartych. Przekrój łamany sprowadza się do jednej płaszczyzny rzutu, dopuszczając skrócenie płaszczyzny części skośnej przekroju (rys. 5.6).



Rys. 5.5a. Przekroje stopniowe płyty

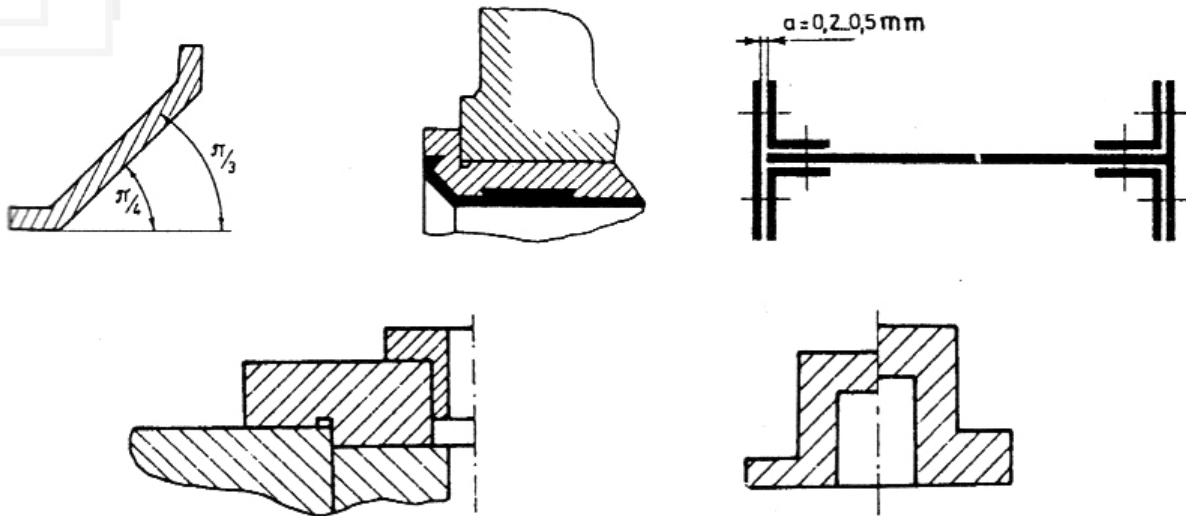


Rys. 5.5b. Widok izometryczny płytki z otworami



Rys. 5.6. Przekrój łamany obrócony

Pola przekroju, które tworzy płaszczyzna przecinająca materiał przedmiotu kreskuje się liniami cienkimi ciągłymi nachylonymi pod kątem 45° do osi lub krawędzi przedmiotu. Odległości między liniami kreskowania – podziałka kreskowania wynosi $0,5\text{--}5\text{ mm}$ w zależności od wielkości pola przekroju. Sposoby kreskowania dla różnych przypadków ilustruje rysunek 5.7.



Rys. 5.7. Sposoby kreskowania przekrojów

Reguły kreskowania przekrojów:

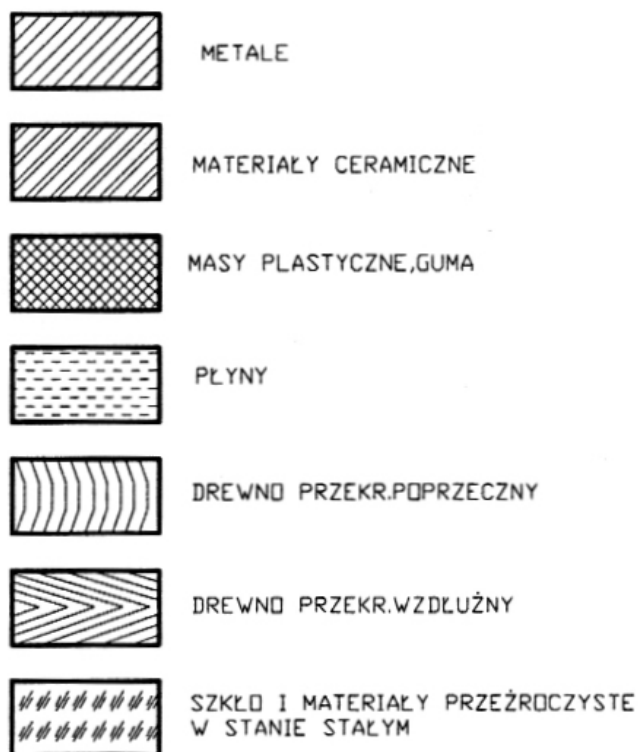
- kreskowanie przekrojów tego samego przedmiotu w różnych rzutach powinno być zgodne co do kierunku nachylenia linii kreskowania i podziałki,
- przekroje długie i wąskie nachylone pod kątem 45° kreskuje się pod kątem 30° lub 60° ,
- bardzo wąskie przekroje można zaczerńać z prześwitem 0,2–0,5 mm oddzielającym połączone części,
- przedmioty dwudzielne kreskuje się w przeciwnie nachylonych kierunkach z tą samą podziałką,
- obiekty złożone z kilku elementów połączonych ze sobą kreskuje się, zmieniając na przemian kierunek nachylenia linii oraz podziałkę kreskowania.

Wzory kreskowania przekrojów obiektów wykonanych z różnego tworzywa zawiera norma PN-88/N-01607. Przykładowe wzorce kreskowania przedstawiono na rysunku 5.8.

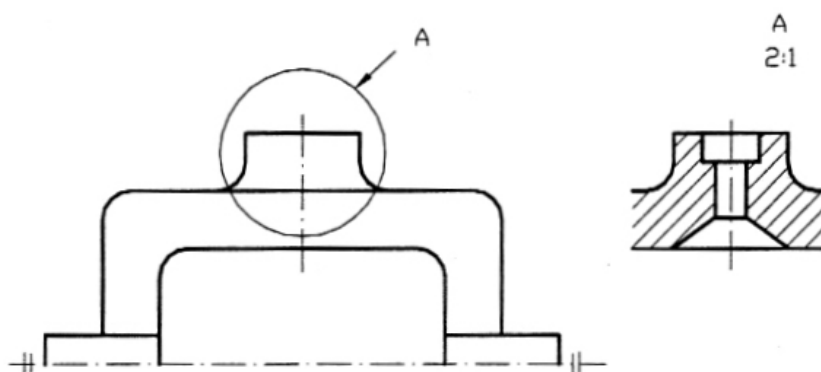
Przekroje częściowe rysuje się jako miejscowe (wyrwania) umieszczane na widokach przedmiotu lub w przerwie widoku ograniczając je linią falistą lub zygzakową cienką, przy czym linie ograniczające nie powinny pokrywać się z krawędziami przedmiotu, a kilka drobnych szczegółów leżących obok siebie można łączyć w jeden przekrój częściowy. Na rysunku 5.9 przedstawiono przekrój częściowy przesunięty w powiększeniu 2:1.

Przypadki szczególne:

- nie wykonuje się przekrojów wzdłużnych ścian, tarcz, żeber i ramion kół (elementy te tak się rysuje, jak gdyby płaszczyzna przekroju przechodziła tuż przed nimi) (rys. 5.10),
- nie wykonuje się przekrojów wzdłużnych przedmiotów obrotowych pełnych (osie, wały, śruby, trzpienie, sworznie, nity itp.) oraz klinów i wpustów (przedmioty te przedstawia się w widoku) (rys. 5.11a, b),



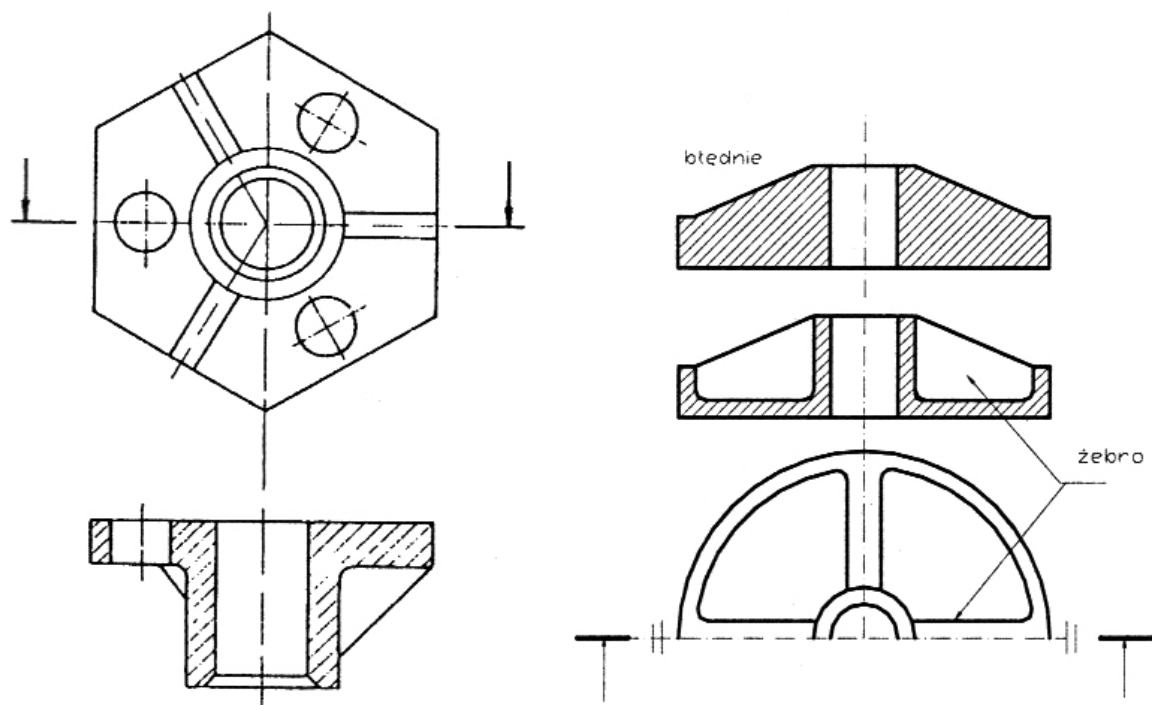
Rys. 5.8. Przykładowe wzorce kreskowania materiałów



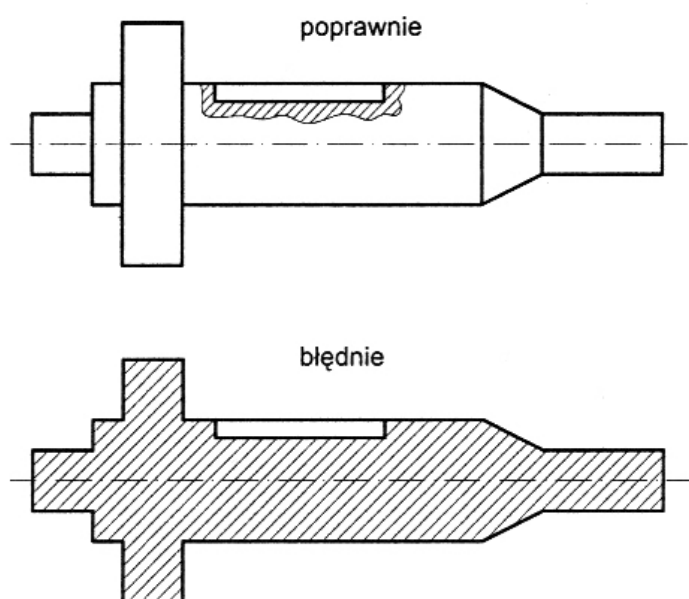
Rys. 5.9. Przykład przekroju częściowego

- przekrój ściany skośnej tak się rysuje, jak gdyby płaszczyzna przekroju była prostopadła do tej ściany, której grubość na rzucie przekroju odpowiada rzeczywistej grubości ściany (wymiar A na rys. 5.12).

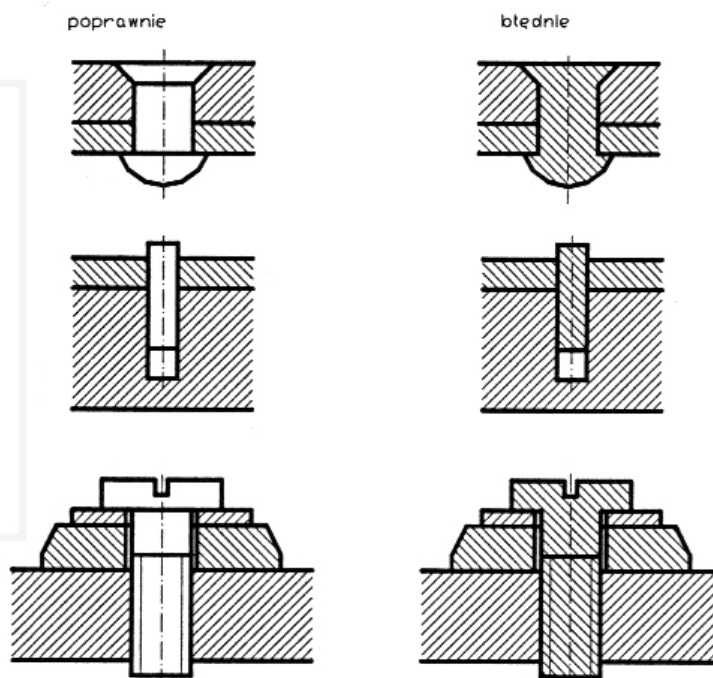
Przedmioty długie można na rysunku skracać (przerywać) jeśli kształt opuszczanych fragmentów detalu nie budzi wątpliwości. W miejscu przerywania rzutu obie części ogranicza się linią falistą lub zygzakową (rys. 5.13a, b).



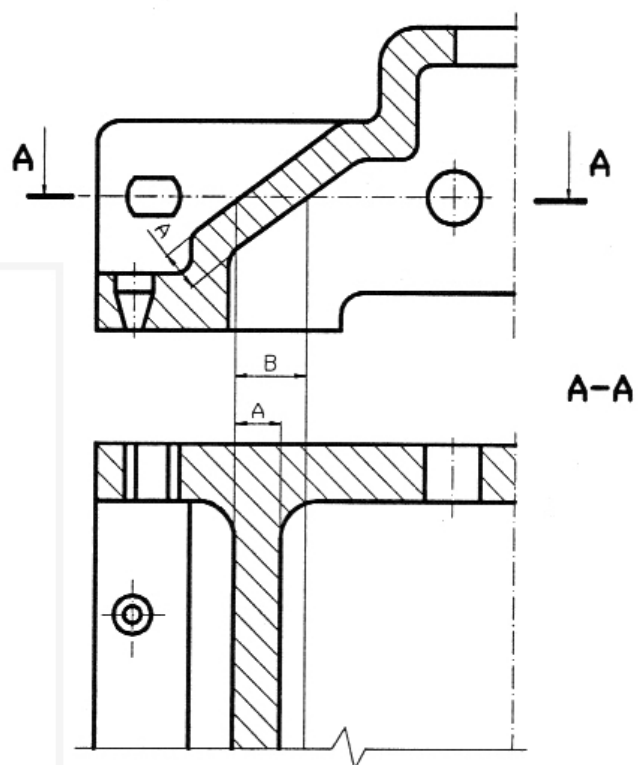
Rys. 5.10. Przekroje wzdłużne żeber i ramion kół



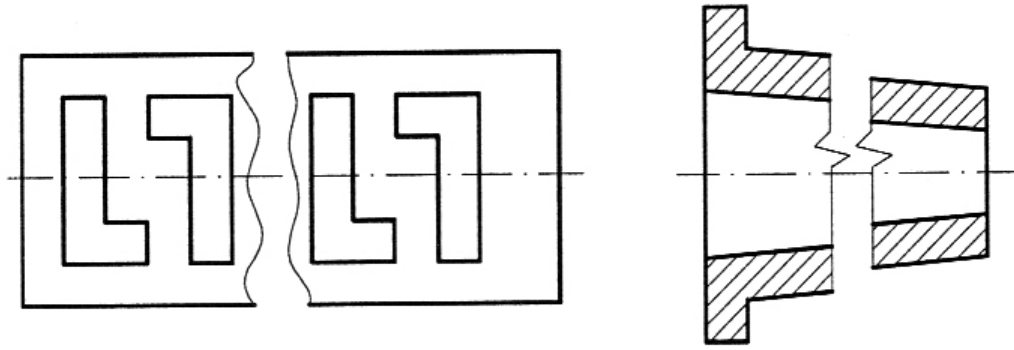
Rys. 5.11a. Przekrój wzdłużny wałka



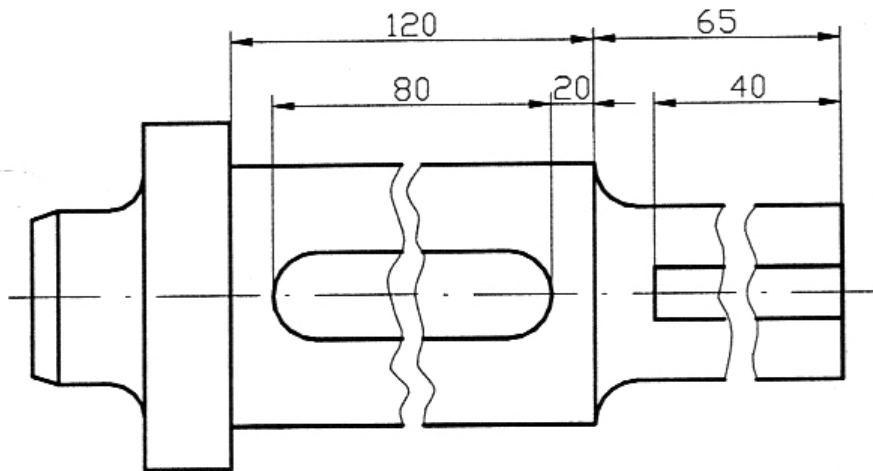
Rys. 5.11b. Przekrój wzdłużny nitu, kołka i wkrętu



Rys. 5.12. Przekrój ścian skośnej

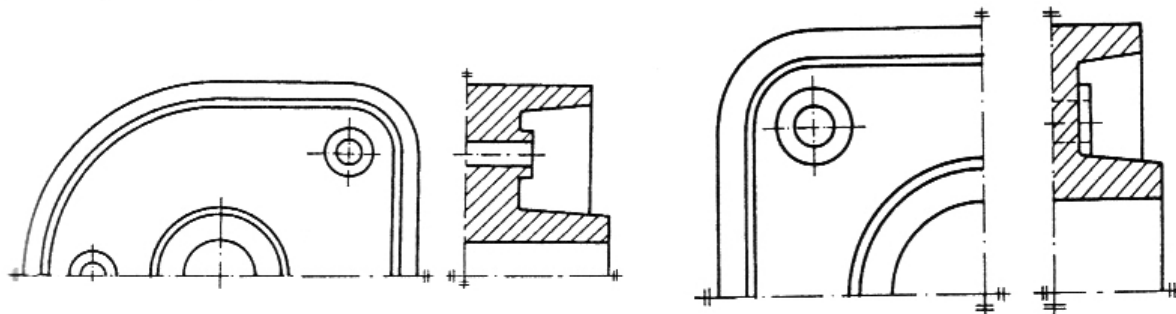


Rys. 5.13a. Skracanie i przerywanie przedmiotów długich

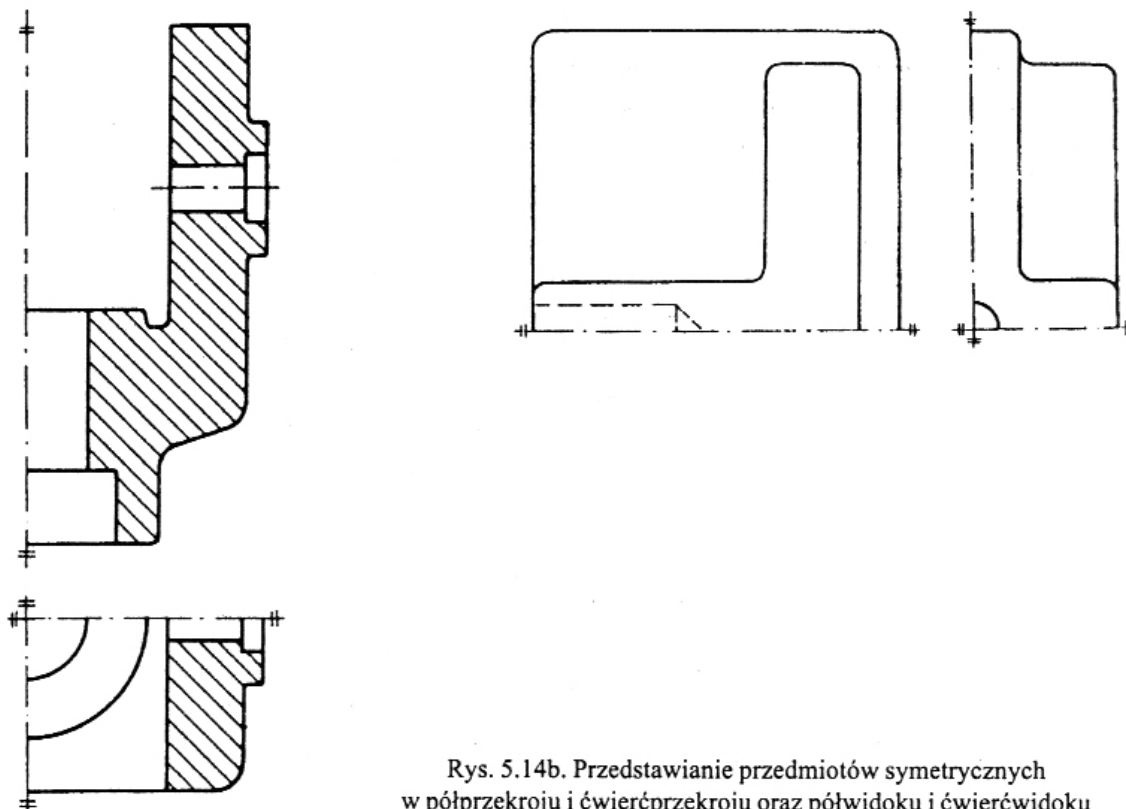


Rys. 5.13b. Skracanie i przerywanie wymiarowanych przedmiotów długich

Przedmioty symetryczne względem jednej płaszczyzny symetrii odwzorowuje się za pomocą dwóch półwidoków lub półprzekrojów, lub półwidoku-półprzekroju. Jeżeli przedmiot jest symetryczny względem dwóch płaszczyzn wzajemnie prostopadłych, to można go odwzorować kombinacją półwidoków (półprzekrojów) oraz ćwierćwidoków (ćwierćprzekrojów).



Rys. 5.14a. Przedstawianie przedmiotów symetrycznych w półwidoku i ćwierćprzekroju oraz ćwierćwidoku i ćwierćprzekroju



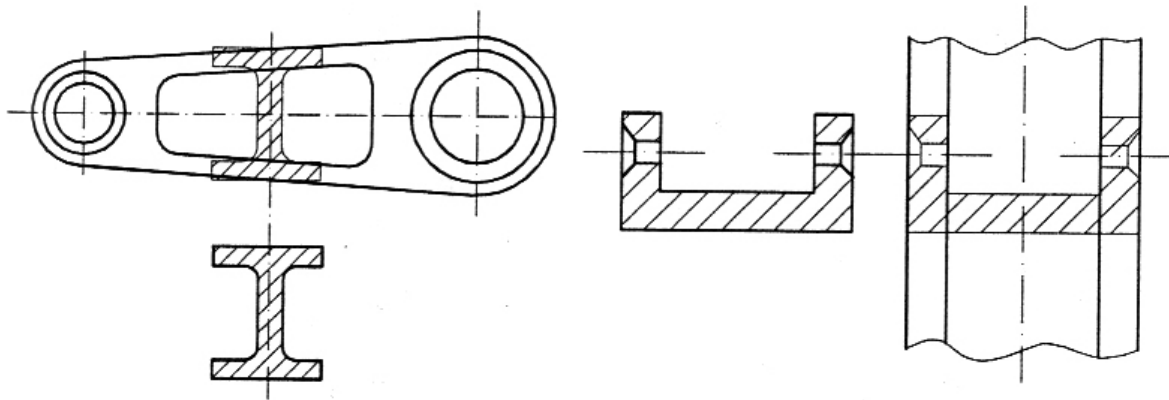
Rys. 5.14b. Przedstawianie przedmiotów symetrycznych w półprzekroju i ćwierćprzekroju oraz półwidoku i ćwierćwidoku

Półwidoki (półprzekroje), ćwierćwidoki (ćwierćprzekroje) oznacza się na rysunku dwoma cienkimi kreskami na końcach osi symetrii przedmiotu.

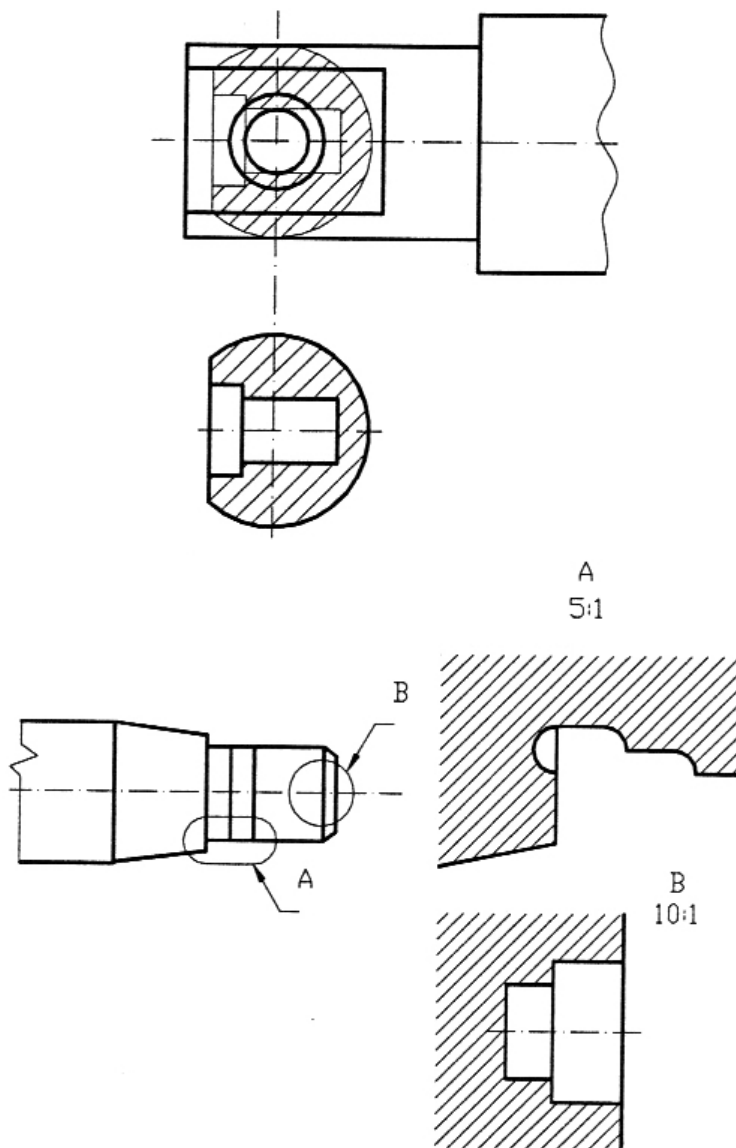
5.4. Kłady

Kład jest rodzajem przekroju wykonywanym przez obrót przekroju poprzecznego o kąt 90° wokół osi – śladu płaszczyzny przekroju i położeniu go na zarysie widoku (kład miejscowy) lub obok niego (kład przesunięty). Obrótu płaszczyzny przekroju dokonuje się w taki sposób, aby kierunek rzutowania odpowiadał kierunkowi patrzenia na ten przekrój od strony prawej lub z dołu. Zarys kładu miejscowego rysuje się linią cienką ciągłą, natomiast zarysy kładów przesuniętych – linią ciągłą grubą. Przykłady kładów przekrojów i widoków przedstawiono na rysunkach 5.15, 5.16.

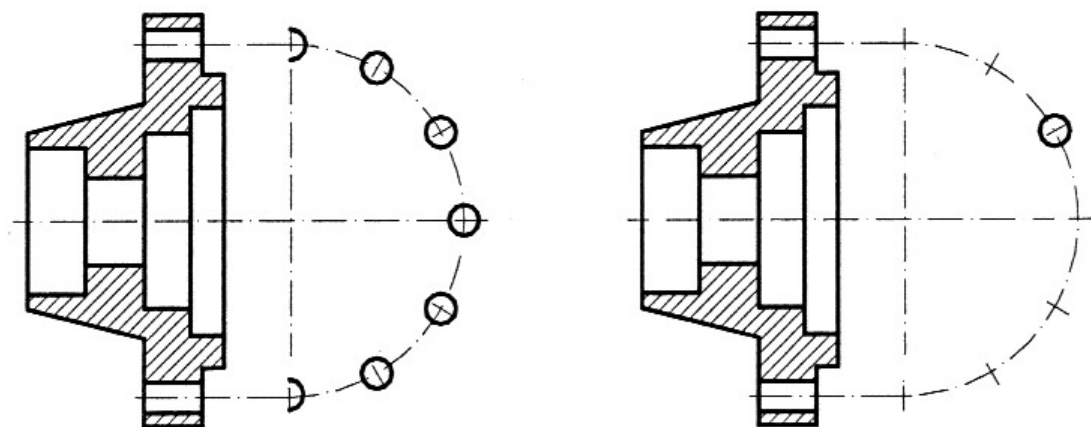
Częściowe kłady widoku przedmiotu (np. pokrywy) wykonuje się w celu zwymiarowania rozmieszczenia położenia otworów (linia gruba) w kołnierzu pokrywy, pomijając pozostałe szczegóły przedstawionego widoku.



Rys. 5.15a. Kłady przekrojów dźwigni i ceownika (miejscowy i przesunięty)



Rys. 5.15b. Kłady przekrojów wałka oraz przekroje cząstkowe końcówki wałka



Rys. 5.16. Kład widoku otworów

Rozdział 6

Zapis kształtu i wymiarów

6.1. Zasady ogólne i podstawowe elementy wymiarowania

Zapis graficzny odwzorowuje kształty i wymiary obiektu rzeczywistego z zastosowaniem podziałki rysunkowej. Liczbę podanych rzutów przedmiotu i wymiarów ogranicza się do niezbędnego minimum, przy czym każdy z podanych wymiarów powinien być umieszczony tylko jeden raz, niezależnie od tego czy przedmioty są przedstawiane w jednym lub kilku rzutach, bądź na jednym lub kilku arkuszach rysunkowych.

Zasady porządkowe wymiarowania:

- Wymiary umieszcza się na tych rzutach, na których wymiarowane zarysy przedmiotu są najlepiej widoczne (przekroje).
- Na rysunkach podaje się tylko wymiary konieczne, nie podając wymiarów oczywistych, np. kąt 0° dla elementów równoległych (krawędzi lub ścian przedmiotu) oraz kąt 90° dla elementów prostopadłych, jeżeli wymiarowany kąt nie ma tolerancji.
- Wymiary ze sobą związane (np. średnica i głębokość otworu, długość i głębokość ścięcia) oraz wymiary dotyczące tego samego elementu przedmiotu umieszcza się na tym samym rzucie.
- Przedmiot symetryczny wymiarowany jest symetrycznie względem osi symetrii, a jego elementy wymiarowane są tylko jeden raz.
- Wymiary przedmiotu dotyczące powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych grupuje się oddzielnie, przy czym wymiary mniejsze stawia się bliżej wymiarowanych powierzchni.
- Wymiary należy umieszczać na danym rzucie i w miejscu, w którym są najbardziej potrzebne ze względu na proces wytwarzania przedmiotu.
- Na rysunkach surowych odlewów i odkuwek podaje się wymiary z naddatkiem na obróbkę powierzchni.
- Na rysunkach przedmiotów gotowych nie podaje się naddatków obróbkowych na powierzchniach obrabianych.
- Na rysunkach zespołowych podaje się wymiary powierzchni powstałych przy składaniu elementów zespołu.

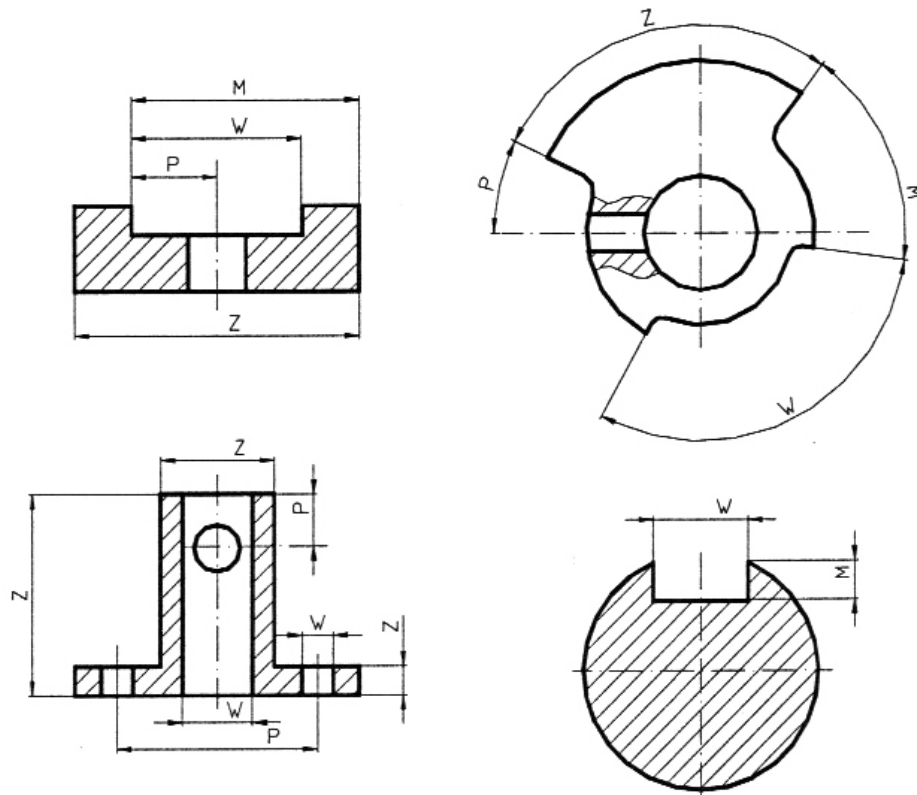
- Na rysunkach złożeniowych podaje się wymiary powierzchni powstające przy składaniu elementów przedmiotu, wymiary zarysów zewnętrznych (gabarytów), rozmieszczenia i średnice elementów współpracujących
- Wymiarowanie od podstaw obróbkowych lub pomiarowych (powierzchni lub płaszczyzn ustalających stykających się z powierzchniami i płaszczyznami urządzeń mocujących).

Rozróżnia się następujące rodzaje wymiarów (rys. 6.1):

- *zewnętrzne* (*Z*), np. wysokość, długość przedmiotu, grubość ścianki, średnica zewnętrzna wałka lub osi,
- *wewnętrzne* (*W*), np. średnica otworu, szerokość rowka,
- *mieszane* (*M*), np. wysokość występu (nadlewka), głębokość rowka,
- *pośrednie* (*P*), np. odległość osi otworów (roztawienie otworów), odległość osi otworu od ścianki lub krawędzi zewnętrznej.

Ze względu na dokładność wykonywania wymiary dzielą się na:

- *wymiary swobodne*, bez określonej dokładności wykonania (tolerancji),
- *wymiary tolerowane*, których rzeczywiste wartości zawierają się w ściśle określonych granicach,
- *wymiary teoretyczne* są to wymiary bardzo dokładne, bez odchyłek, służące do obliczeń narzędzi, sprawdzianów (wzorców).



Rys. 6.1. Rodzaje wymiarów

Elementami wymiarowania są:

- linie wymiarowe,
- pomocnicze linie wymiarowe,
- liczby wymiarowe,
- znaki wymiarowe.

Linia wymiarowa jest to linia ciągła cienka poprowadzona równolegle do kierunku odpowiadającego wymiarowi (krawędzi przedmiotu), zakończona jedną lub dwoma strzałkami, przy czym groty strzałek dotykają pomocniczych linii wymiarowych, linii osiowych lub krawędzi przedmiotu. Linie te umieszcza się zwykle na zewnątrz rzutu (widoku lub przekroju).

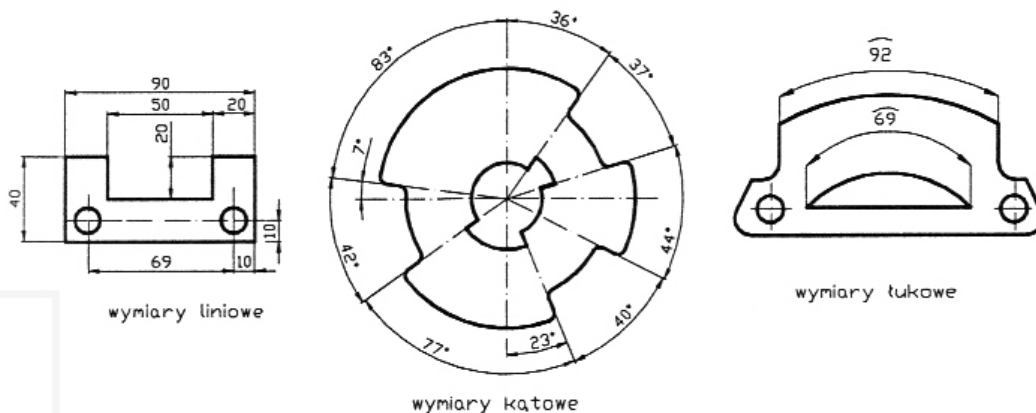
Linie wymiarowe przy wymiarowaniu przedmiotów giętych, łuków lub wymiarów kątów mają postać łuku o promieniu krzywizny równym promieniowi gięcia lub promieniowi łuku kołowego wykreślonego z wierzchołka wymiarowanego kąta.

Pomocnicze linie wymiarowe są to linie ciągłe cienkie będące przedłużeniem linii zarysu rzutu przedmiotu lub stycznych do tych linii, między którymi wstawia się linie wymiarowe.

Linie pomocnicze, osiowe i linie rysunkowe przedmiotu nie mogą być liniami wymiarowymi. Linie wymiarowe, pomocnicze linie wymiarowe, linie krawędzi przedmiotu nie powinny się przecinać.

Liczby wymiarowe określają wymiary długości w jednostkach metrycznych (jeżeli wymiary podane są w milimetrach miano mm pomija się), a wymiary katowe podawane są w stopniach lub radianach. Liczby wymiarowe wpisuje się nad liniami wymiarowymi lub w miejscu ich przerwania. Wysokość liczb wymiarowych powinna być dopasowana do wysokości pisma i wielkości formatu arkusza rysunkowego.

Znaki wymiarowe – symbole średnic i promieni okręgów (ϕ , R), promieni łuków (R), średnic i promieni kuli ($S\phi$, SR), wielokątów foremnych ($6\triangle$) (stawiane przed liczbami wymiarowymi), długości łuku okręgu ($\frown$) (stawiany nad liczbą wymiarową), oznaczenie grubości cienkich przedmiotów ($\times$), kształtu kwadratu ($\square$), pochylenia ($\angle$) i zbieżności ($\sphericalangle$).

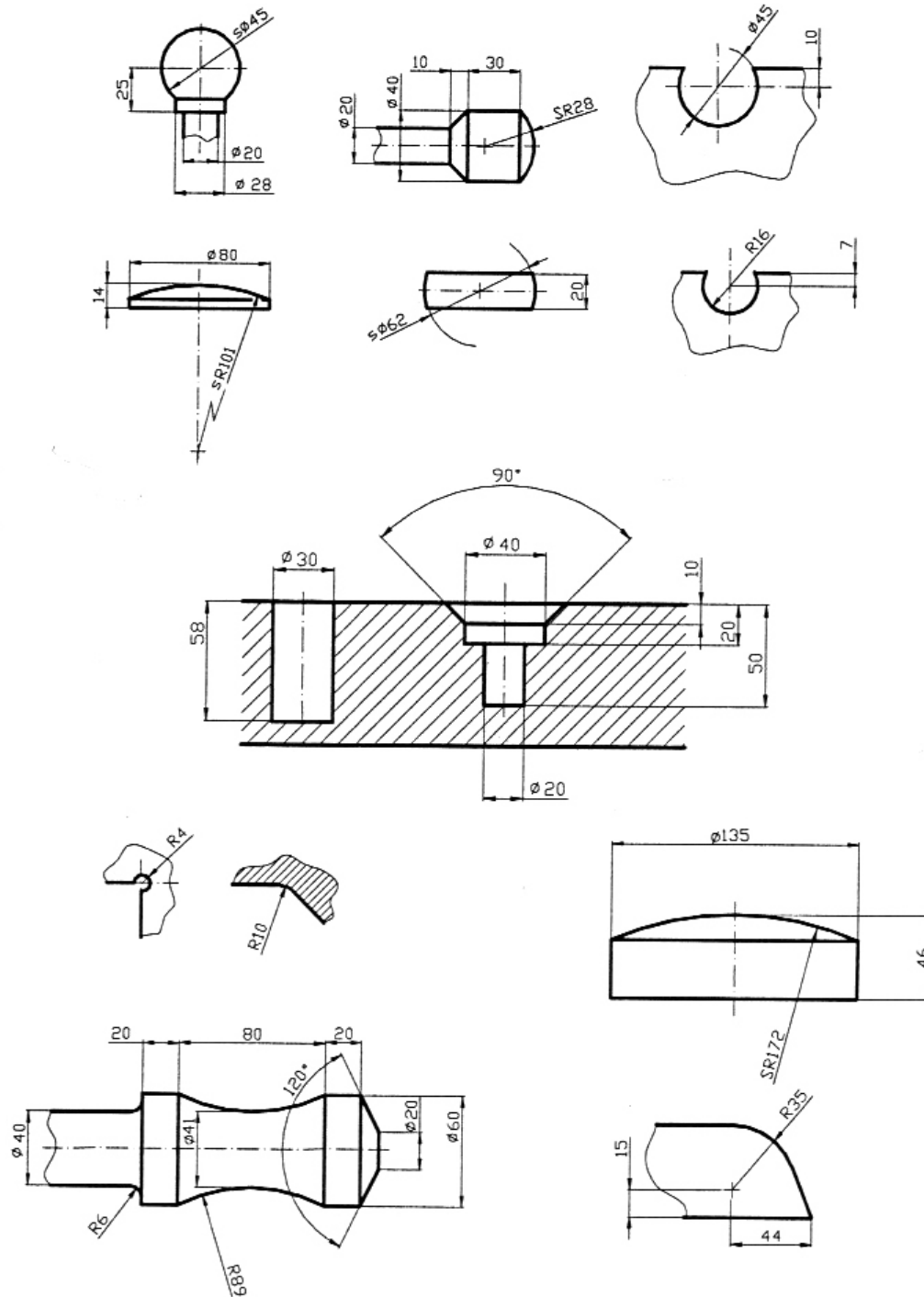


Rys. 6.2. Wymiary liniowe, katowe i łukowe

Przykłady zastosowań linii i znaków wymiarowych przedstawiono na rysunkach 6.1 i 6.2.

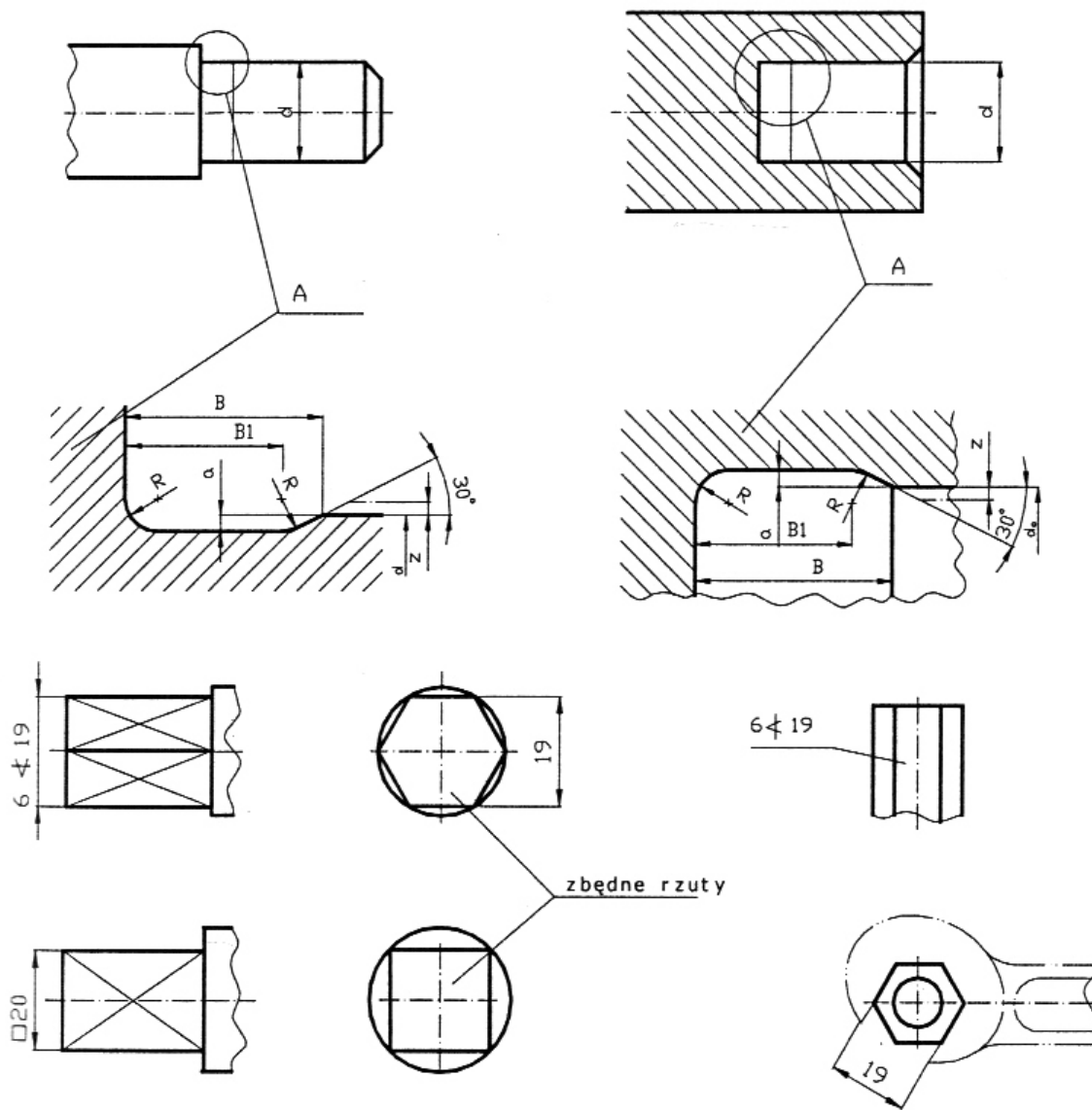
W ogólnym zarysie wymiarowanie obejmuje:

- rozmieszczanie wymiarów na widokach i przekrojach,

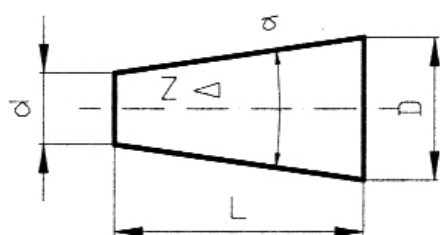


Rys. 6.3. Wymiarowanie otworów i zaokrągleń

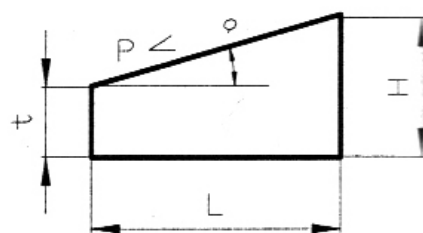
- wymiarowanie średnic i promieni (małych i dużych) (rys. 6.3),
- wymiarowanie otworów (szczegółowe i uproszczone) (rys. 6.3),
- wymiarowanie łuków i cięciw (rys. 6.2),
- wymiarowanie kątów (rys. 6.2),
- wymiarowanie kształtów kwadratowych i sześciokątnych (rys. 6.4),
- wymiarowanie ścięć i zaokrągleń (rys. 6.3),
- wymiarowanie podcięć obróbkowych (rys. 6.4),
- wymiarowanie powtarzających się elementów (rys. 6.7),
- wymiarowanie zarysów o zmiennym promieniu krzywizny (rys. 6.8),



Rys. 6.4. Wymiarowanie podcięć obróbkowych, kształtów kwadratowych i sześciokątnych

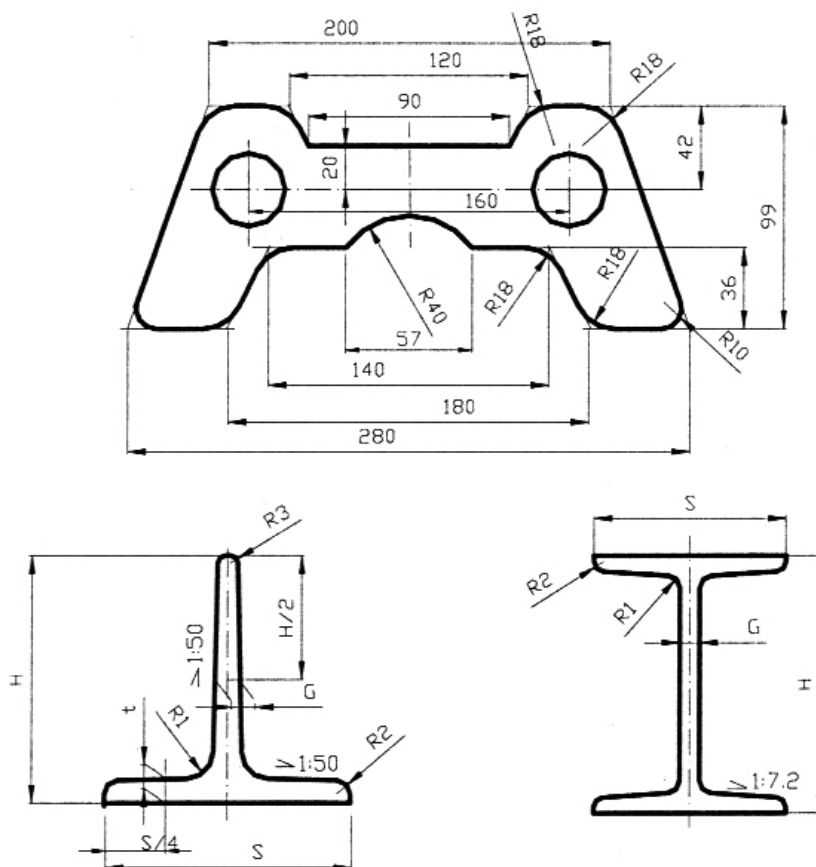


Z-zbieżność



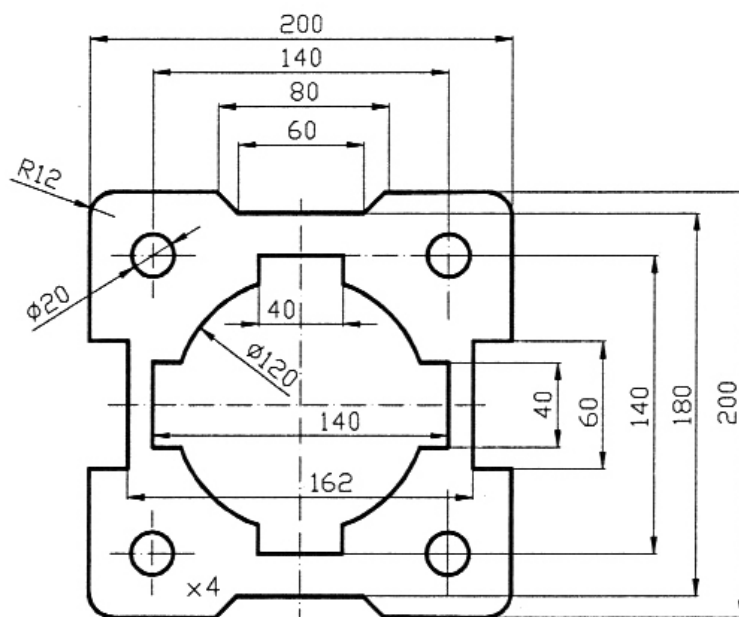
P-pochylenie

Rys. 6.5a. Wymiarowanie zbieżności i pochyłeń

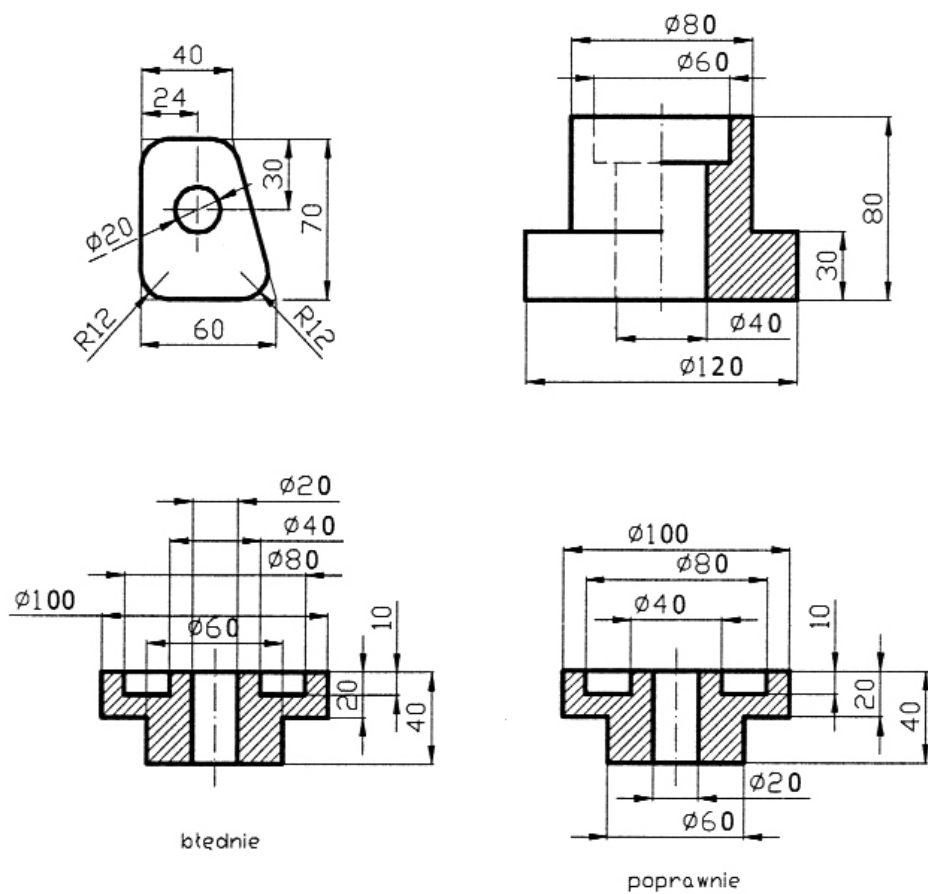


Rys. 6.5b. Wymiarowanie zbieżności i pochyłeń, kształtowników znormalizowanych oraz wymiarowanie względem krawędzi teoretycznych

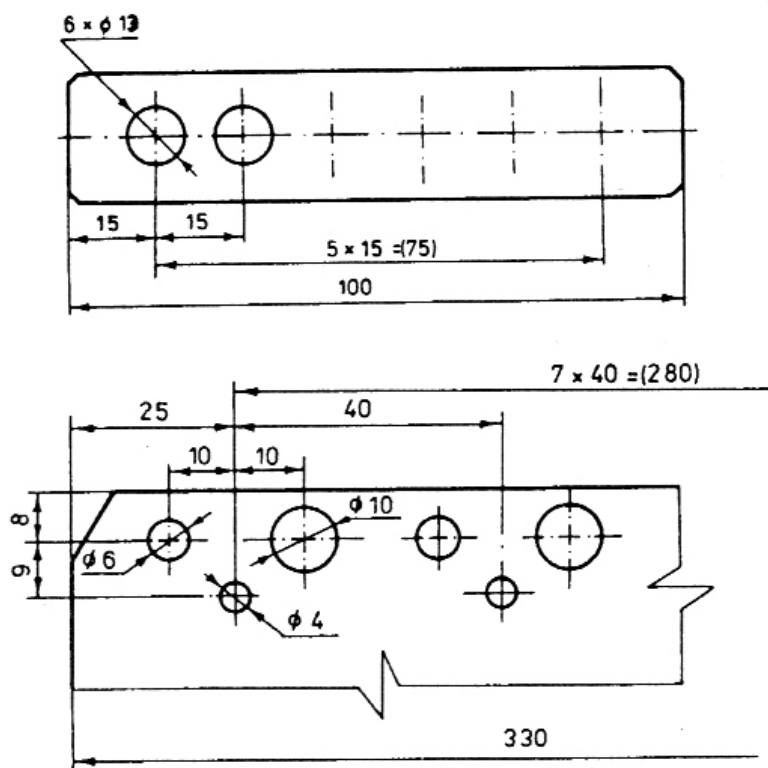
- wymiarowanie przedmiotów symetrycznych (rys. 6.6),
- wymiarowanie względem krawędzi teoretycznych (rys. 6.5),
- wymiarowanie kształtowników znormalizowanych (rys. 6.5),
- wymiarowanie zbieżności i pochyłeń (rys. 6.5).



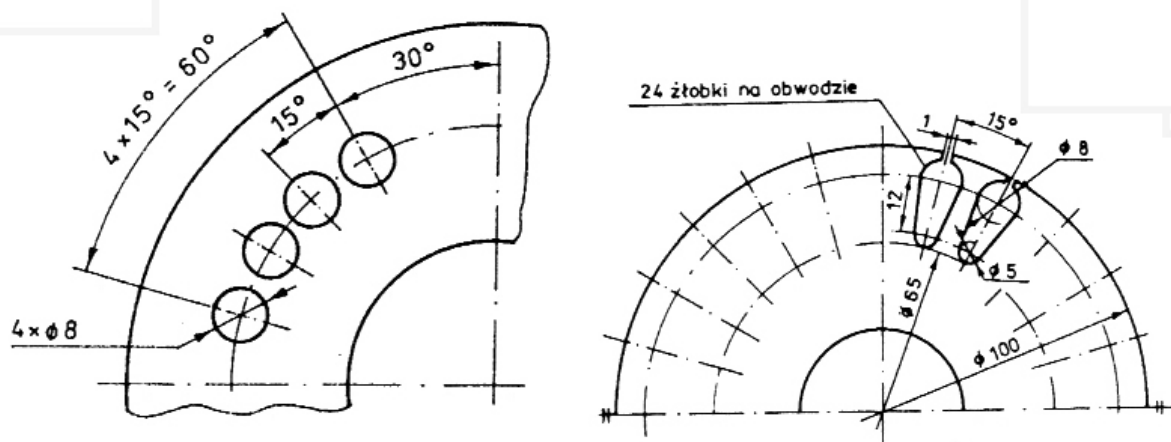
Rys. 6.6a. Wymiarowanie przedmiotów symetrycznych



Rys. 6.6b. Wymiarowanie przedmiotów symetrycznych



Rys. 6.7a. Wymiarowanie powtarzających się elementów

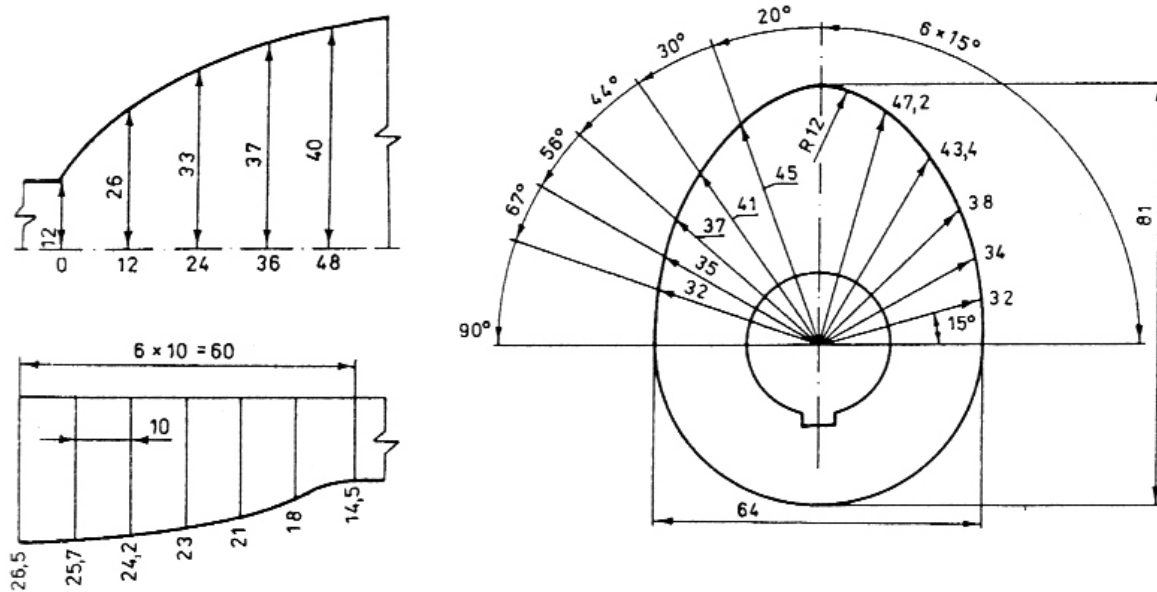


Rys. 6.7b. Wymiarowanie powtarzających się elementów

Ze względu na obszerność tematyki związanej z wymiarowaniem oraz szerokim omówieniem wymienionych zagadnień w literaturze ogólnej, dotyczącej rysunku technicznego [1], zagadnienia te nie są tutaj szczegółowo przedstawione.

Zasady porządkowe wymiarowania:

- Kierunek wpisywania wymiarów – podstawa liczby wymiarowej skierowana w stronę dolnego lub prawego brzegu arkusza.

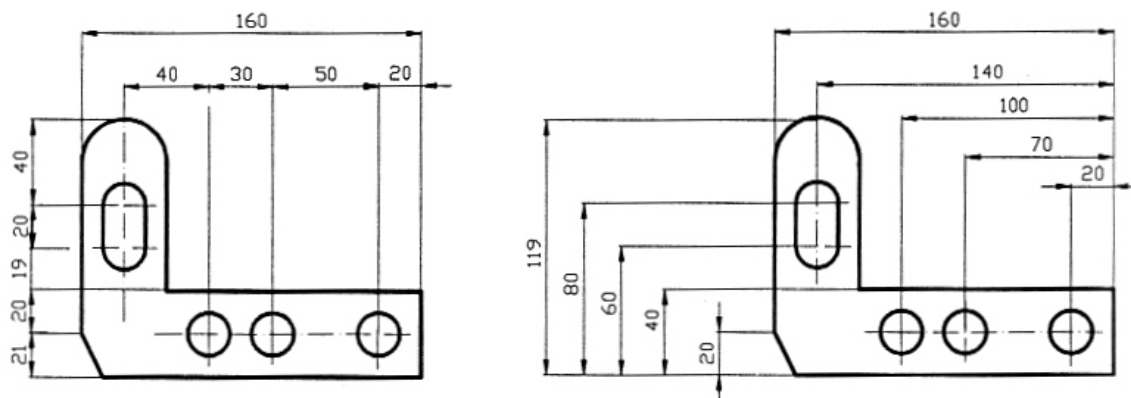


Rys. 6.8. Wymiarowanie zarysów o zmiennym promieniu krzywizny

- Znak i liczba wymiarowa nie mogą być rozdzielane linią rysunkową, pomocniczą linią wymiarową lub osią (linię osi się przerywa).
- Linię wymiarową promienia łuku zakończoną strzałką prowadzi się przez punkt, z którego łuk został zatoczony po stronie wklęsłej łuku.
- Rozmieszczenie otworów (odległość między otworami o przekroju kołowym) – określa się przez podanie wymiaru między środkami otworów lub kąta między osiami otworów (jeśli otwory leżą na obwodzie okręgu przechodzącego przez środki tych otworów).
- Wiele powtarzających się wymiarów jednakowych elementów zastępuje się wymiarami jednego z elementów oraz podając ich liczbę.
- Przedmioty wygięte: długość przedmiotu przed zgięciem podaje się nad linią wymiarową mającą kształt osi wygiętego przedmiotu lub przez dorysowanie zarysu przedmiotu przed wygięciem i podanie długości materiału wyjściowego.
- Wymiarowanie od krawędzi teoretycznych (gdy powierzchnie nachylone są pod kątem innym niż prostym) – pomocnicze linie wymiarowe prowadzimy od krawędzi teoretycznych powstałych z przecięcia się linii przedłużeń krawędzi rzeczywistych przedmiotu.

Zasada niepowtarzania wymiarów: na rysunku należy podawać tylko wymiary niezbędne do jednoznacznego określenia wymiarowanego przedmiotu. Każdy potrzebny wymiar podawany jest tylko jeden raz.

- Wymiarowanie *szeregowe (łańcuchowe)*. Stawianie wymiarów jeden za drugim (łańcuch wymiarowy otwarty) – określa dokładne położenie sąsiednich powierzchni przedmiotu względem siebie (rys. 6.9).



Rys. 6.9. Wymiarowanie szeregowe i równoległe

- Wymiarowanie *równoległe (od bazy wymiarowej)*. Podawanie wszystkich wymiarów równoległych od jednej bazy wymiarowej (powierzchni lub krawędzi) – określa dokładne położenie kilku powierzchni przedmiotu od wybranej bazy (rys. 6.9).
- Wymiarowanie *mieszane (szeregowo-równoległe)*, łączy zalety obu sposobów, najczęściej stosowane.

6.2. Tolerowanie wymiarów, zasady i przykłady zastosowania

W złożonych obiektach konstrukcyjnych poprawne działanie urządzenia jest uwarunkowane prawidłową współpracą elementów tworzących zespoły i podzespoły konstrukcji. Części składowe muszą spełniać wymagania dotyczące dokładności kształtów, wymiarów i stanu współpracujących powierzchni. Wytwarzane elementy osiągają wymiary rzeczywiste przez różne rodzaje obróbki. Wymiary rzeczywiste elementów różnią się od wymiarów teoretycznych z powodu nieuniknionych błędów wytwarzania, możliwości technicznych i błędów pomiaru.

Ze względu na dokładność wykonania wymiary dzielimy na:

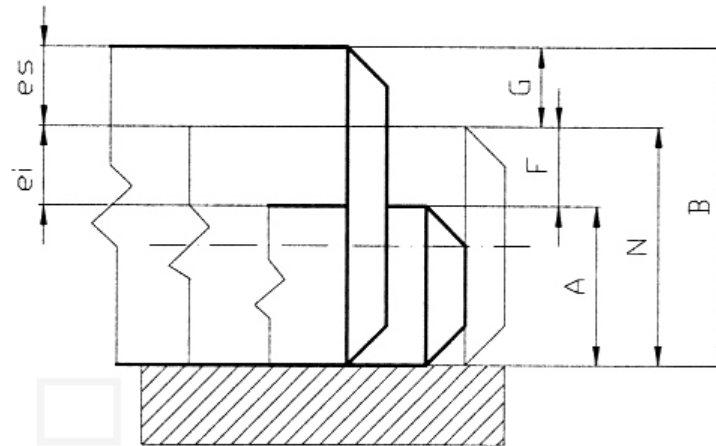
- *swobodne* – dokładna wartość wymiaru nie jest wymagana,
- *normalne* – wartość rzeczywistego wymiaru zawiera się w określonym przez normę przedziale (wymiary tolerowane).

Tolerowanie normalne może być liczbowe, symbolowe lub mieszane.

Wymiar tolerowany ma dwa wymiary graniczne: górny (B) i dolny (A), między którymi powinien znaleźć się wymiar rzeczywisty (rys. 6.10 i 6.11).

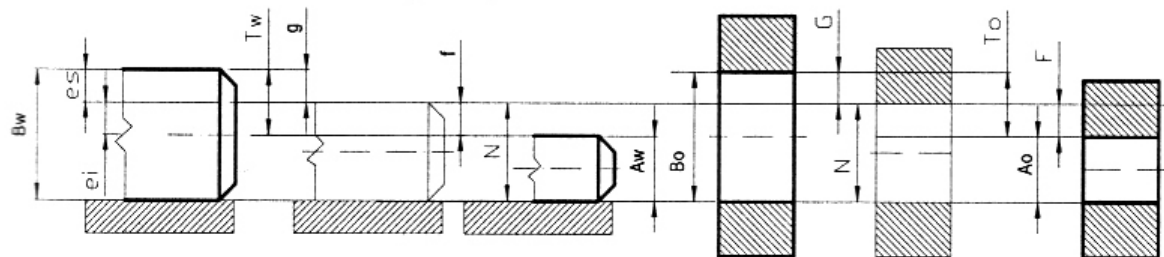
Tolerancja wymiaru jest to algebraiczna różnica między górnym i dolnym wymiarem granicznym albo różnica odchyłek wymiarów:

$$T = B - A > 0$$



Rys. 6.10. Ilustracja wymiaru tolerowanego

wymiar liniowy



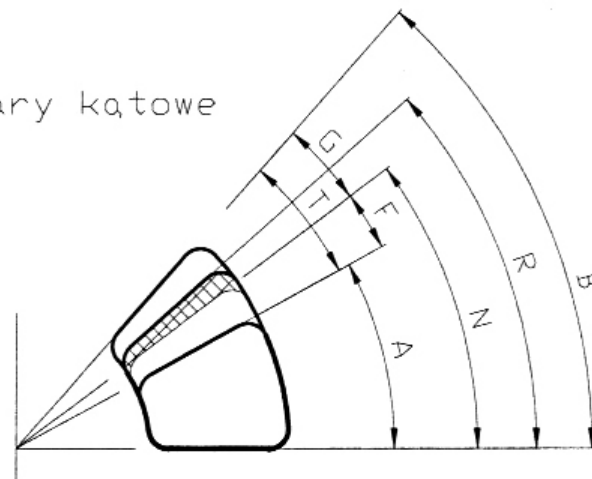
walek

[wymiar zewnętrzny]

otwór

[wymiar wewnętrzny]

wymiar katowy



Rys. 6.11. Tolerowanie wymiarów liniowych i katowych

Odchyłka górna:

$$G = B - N$$

Odchyłka dolna:

$$F = A - N$$

zatem pole tolerancji

$$T = G - F > 0$$

Oznaczenia wymiarów liniowych i kątowych stosowanych na rysunkach:

A_o, A_w	– wymiar graniczny dolny otworu i wałka,
B_o, B_w	– wymiar graniczny górny otworu i wałka,
N	– wymiar nominalny otworu i wałka,
R	– wymiar rzeczywisty kątowy,
T_o, T_w	– tolerancja otworu i wałka,
E_s, E_i	– odchyłka górna i dolna otworu,
e_s, e_i	– odchyłka górna i dolna wałka,
$+\Delta$	– luz dodatni,
$-\Delta$	– luz ujemny (wcisk),
$L_{\min}, L_{\max}$	– luz graniczny minimalny i maksymalny,
$W_{\min}, W_{\max}$	– wcisk graniczny minimalny i maksymalny.

Ze względu na odchyłki tolerowanie może być:

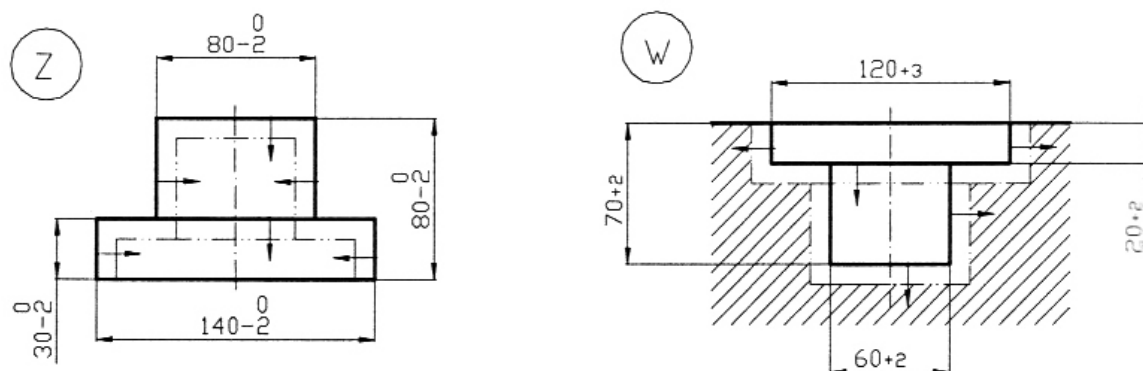
- *symetryczne* – odchyłki wymiaru mają równe wartości i różne znaki,
- *asymetryczne* – różne wartości i znaki.

W zapisie graficznym konstrukcji stosuje się dwa rodzaje tolerowania wymiarów:

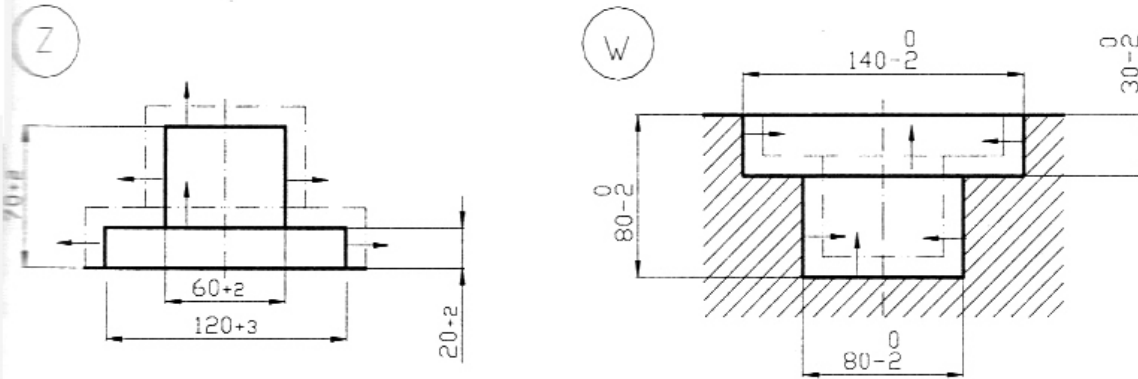
- tolerowanie *w głąb materiału*,
- tolerowanie *na zewnątrz materiału*.

Tolerowanie *w głąb materiału* jest tolerowaniem asymetrycznym, przy którym odchyłka dopuszcza tylko *zmniejszenie objętości przedmiotu*. Wymiary nominalne przedmiotu określają jego największą objętość (max materiału), przy czym odchyłki wymiarów zewnętrznych są ujemne, a wymiarów wewnętrznych – dodatnie. Ten rodzaj tolerowania jest najczęściej stosowany (rys. 6.12).

Tolerowanie *na zewnątrz materiału* jest tolerowaniem asymetrycznym, przy którym odchyłka dopuszcza tylko *zwiększenie objętości przedmiotu*. Wymiary nominalne przedmiotu określają jego najmniejszą objętość (min materiału), przy czym odchyłki wymiarów zewnętrznych są dodatnie, a wymiarów wewnętrznych – ujemne (rys. 6.13).



Rys. 6.12. Tolerowanie w głąb materiału: z – wymiary zewnętrzne, w – wymiary wewnętrzne



Rys. 6.13. Tolerowanie na zewnątrz materiału: z – wymiary zewnętrzne, w – wymiary wewnętrzne

Oprócz omówionych wymiarów tolerowanych stosuje się wymiary, których dokładność jest mniej istotna (wartości odchyłek nie wpisuje się przy wymiarze), są to tzw. wymiary nietolerowane. Zależnie od potrzeby określania dokładności wytwarzanych wyrobów przyjmuje się odchyłki dla tych wymiarów (nietolerowanych) w klasach dokładności 11–17, z uprzywilejowaną klasą 14, według której odchyłki przyjmuje się najczęściej.

6.3. Zasady pasowania

Połączenia elementów konstrukcyjnych tworzących podzespoły, zespoły lub całkowite urządzenia mają charakter spoczynkowy lub ruchowy, obrotowy lub przesuwany. Właściwa współpraca elementów połączonych wzajemnie zależy od wartości luzów granicznych między nimi.

Luz graniczny (maksymalny lub minimalny) jest to największy lub najmniejszy luz, jaki może wystąpić w danym pasowaniu (rys. 6.11, 6.14)

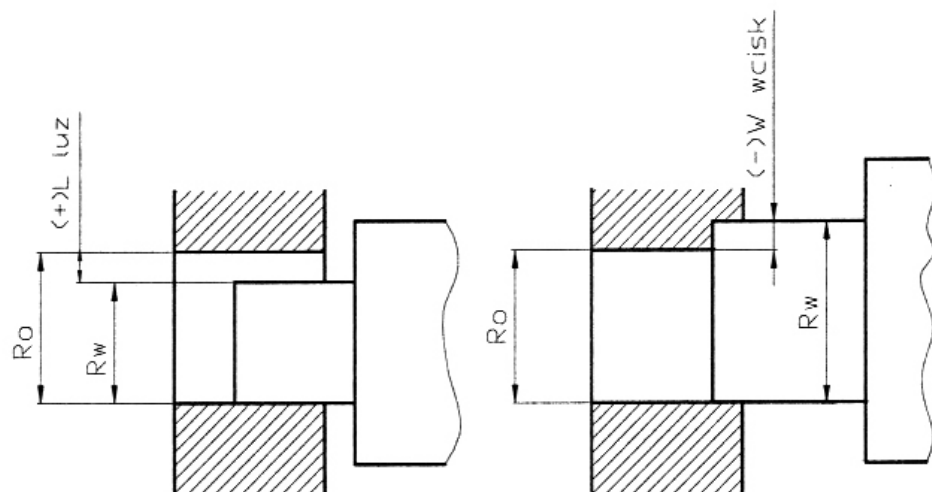
$$L_{\max} = B_o - A_w = (N + G) - (N + f) = G - f$$

$$L_{\min} = A_o - B_w = (N + F) - (N + g) = F - g$$

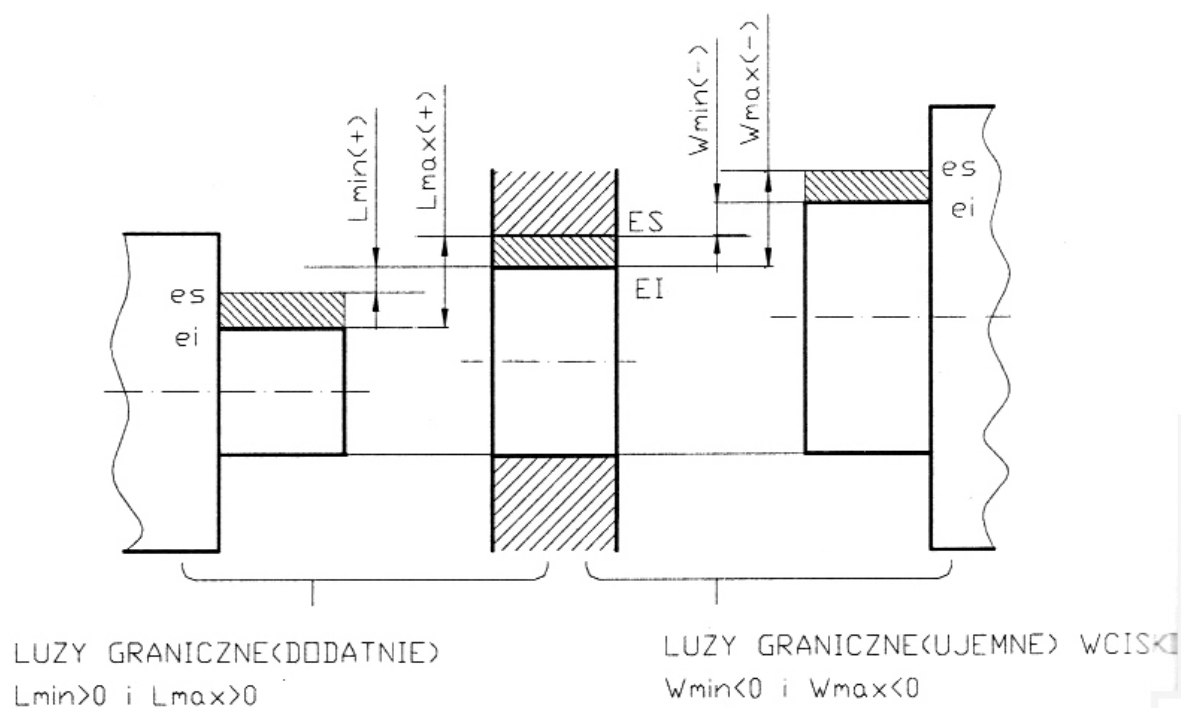
Pasowanie powstaje podczas łączenia części maszynowych o jednakowym wymiarze nominalnym, lecz różnych wartościach odchyłek. Charakterystyczną cechą pasowania jest luz (+Δ), powstający między połączonymi powierzchniami. Luz o wartości ujemnej nazywa się wciskiem (-Δ). W zależności od wartości luzu (+Δ lub -Δ) rozróżnia się następujące rodzaje pasowania (rys. 6.15):

- pasowanie luźne $L_{\max} > 0, L_{\min} > 0$ (części mogą się wzajemnie przemieszczać)
- pasowanie mieszane: $L_{\max} > 0, L_{\min} < 0$ (przemieszczanie się części jest utrudnione)
- pasowanie ciasne: $L_{\max} < 0, L_{\min} < 0$ (przemieszczanie się części jest niemożliwe)

Zgodnie ze znormalizowanym układem pasowań rodzaj pasowania jest określony za pomocą symboli i liczb (symbole literowe odnoszą się do położenia pól tolerancji, a liczby – do numerów klasy dokładności), przy czym dla wymiarów wewnętrznych (otwo-



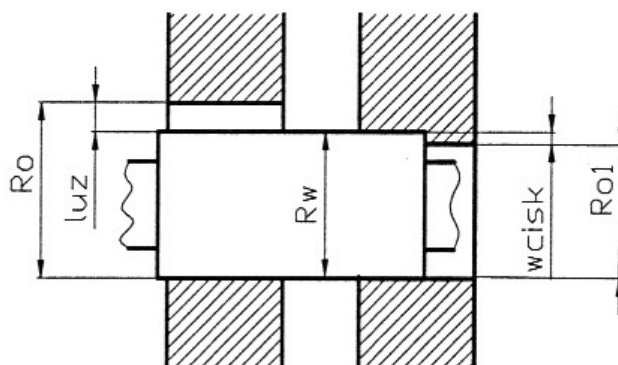
Rys. 6.14a. Luzy i wciski



Rys. 6.14b. Luzy i wciski graniczne

rów) obowiązują duże symbole literowe: A, B, C, CD, E, EF, F, FG, G, H, J, JS, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC, a dla wymiarów zewnętrznych (wałków) małe symbole literowe: a, b, c, cd, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, za, zb, zc.

Zasada pasowania według stałego wałka polega na doborze do wałka podstawowego ($h: g = 0, f < 0$) różnych otworów, tak aby uzyskać żądany rodzaj pasowania. Dobierając do wałka podstawowego otwory z grupy (A–H), otrzymuje się pasowanie luźne, z grupy (J–N) – pasowanie mieszane, z grupy (P–Z) – pasowanie ciasne (rys. 6.15 i 6.16b).



Rys. 6.16b. Pasowanie według stałego wałka

6.4. Tolerowanie kształtu i położenia

Podobnie jak w przypadku wymiarów obiektu, których rzeczywiste wartości różnią się od wymiarów założonych (teoretycznych), w celu dokładnego określenia kształtu i położenia elementów konstrukcji wprowadza się odchyłki, które odzwierciedlają różnice między rzeczywistym kształtem i teoretycznym.

Symbole odchyłek kształtu powierzchni:

	prostoliniowość
	płaskość
	kołowość (okrągłość)
	walcowość

Symbole odchyłek położenia powierzchni:

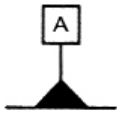
	równoległość
	prostopadłość
	współosiowość
	symetria



wichrowatość (przecinanie się osi)

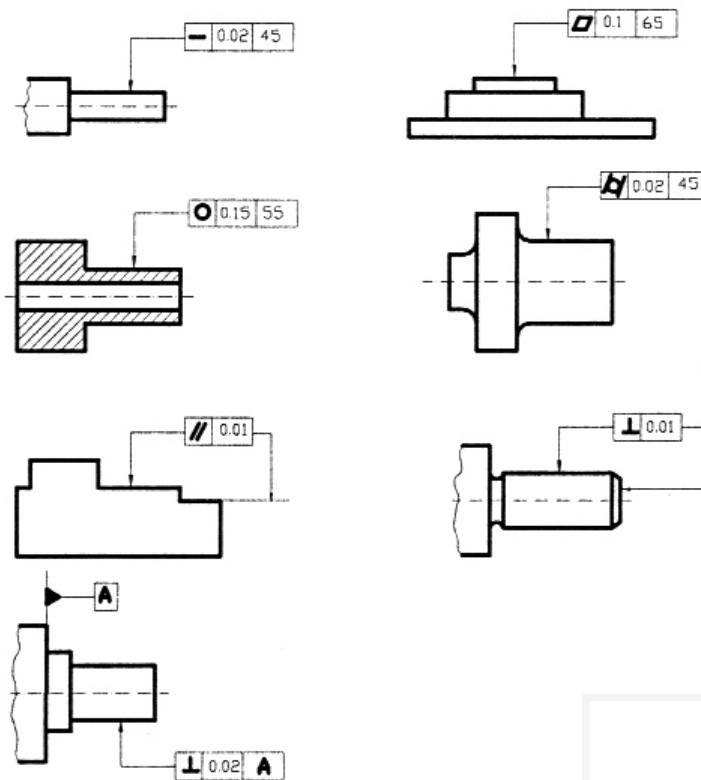


bicie (poprzeczne i wzdłużne)



baza (powierzchnia odniesienia)

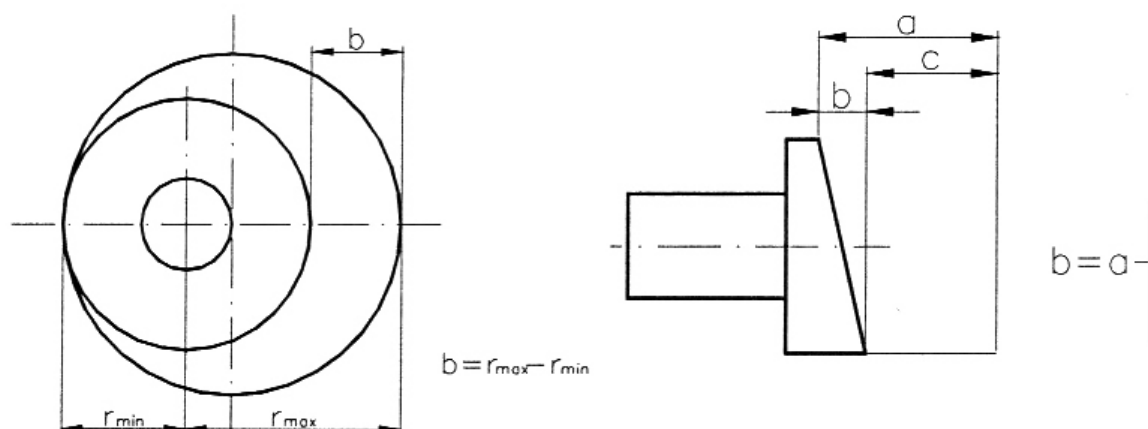
Miarą tolerancji kształtu i położenia jest dopuszczalna maksymalna wartość odchyłki ($\Delta_{\max}$), którą wpisuje się wraz z symbolem w prostokątne ramki, podzielone na 2 lub 3 części (symbol odchyłki, wartość odchyłki i baza lub wymiar długości zachowania odchyłki). Przykłady oznaczania błędów kształtu i położenia powierzchni pokazano na rysunku 6.17.



Rys. 6.17. Tolerowanie kształtu i położenia powierzchni

Bicie poprzeczne (promieniowe) jest to różnica między największą i najmniejszą odległością punktów powierzchni obrotowej od osi będącej elementem odniesienia. Bicie poprzeczne określa się w płaszczyźnie prostopadłej do tej osi (rys. 6.18).

Bicie wzdłużne (poosiowe) jest to różnica między największą i najmniejszą odległością punktów powierzchni czołowej przedmiotu od dowolnej płaszczyzny prostopadłej



Rys. 6.18. Ilustracja bicia poprzecznego i wzdłużnego

do osi (elementu odniesienia). Bicie wzdłużne określa się na założonym promieniu (średnicy) (rys. 6.18).

6.5. Określenie stanu powierzchni

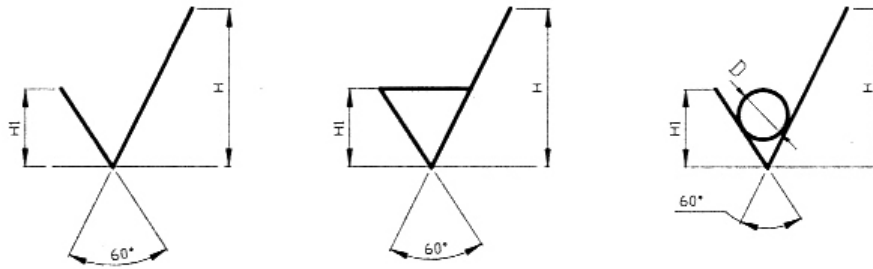
Dopuszczalną chropowatość powierzchni określa się tylko dla tych powierzchni, które wymagają uzyskania żądanych właściwości użytkowych przedmiotu. Najczęściej chropowatość dotyczy płaszczyzn lub powierzchni poddawanych obróbce w różnych technikach wytwarzania tak aby zapewniały właściwą współpracę elementów.

Do oznaczenia chropowatości powierzchni stosuje się znormalizowane znaki chropowatości podane na rysunku 6.19.

Chropowatość powierzchni oznacza się przez podanie znaku chropowatości i dopuszczalnej maksymalnej wartości liczbowej parametru chropowatości Ra – średnie arytmetyczne odchylenie profilu powierzchni od linii średniej lub parametru Rz – wysokość nierówności według 10 punktów profilu w μm .

Zastosowanie znaków chropowatości:

- ✓ sam znak (bez opisów), stosowany tylko w zbiorczych oznaczeniach chropowatości,
- ✓^a chropowatość określona przez Ra lub Rz może być uzyskana przez zdjęcie lub bez zdjęcia warstwy materiału,
- ✓^a chropowatość określona przez Ra lub Rz powinna być uzyskana przez zdjęcie warstwy materiału, np. skrawaniem, szlifowaniem,



Rys. 6.19. Znormalizowane znaki chropowości



chropowość określona przez R_a lub R_z powinna być uzyskana bez zdjęcia warstwy materiału, np. przez odlewanie, walcowanie (obróbkę plastyczną),



chropowość powierzchni powinna być zachowana taka, jaką uzyskano w poprzedzającym procesie technologicznym, np. chropowość powierzchni surowego odlewu,



chropowość obowiązuje na całym obwodzie.

Gdy chropowość powierzchni ma być osiągnięta z zastosowaniem określonego sposobu obróbki – sposób ten należy podać słownie nad dodatkową linią znaku.

Jeżeli jest istotne określenie kierunku przebiegu śladów obróbki powierzchni, czyli jaka ma być kierunkowość struktury powierzchni, należy podać odpowiedni znak kierunkowości struktury (z prawej strony u dołu znaku chropowości).

Długość odcinka, na której określono chropowość podaje się w mm (z prawej strony u góry znaku chropowości).

Odmiany kierunkowości struktury powierzchni:



równoległa



prostopadła



współśrodkowa



skrzyżowana



nieuporządkowana



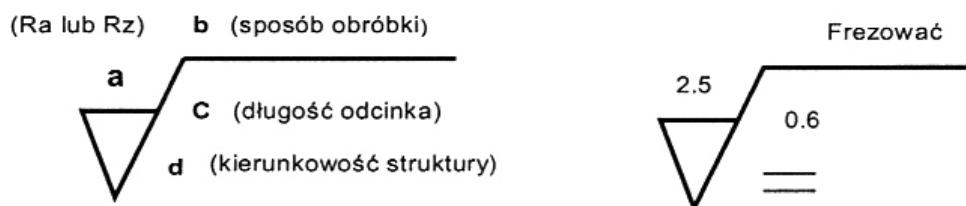
promieniowa



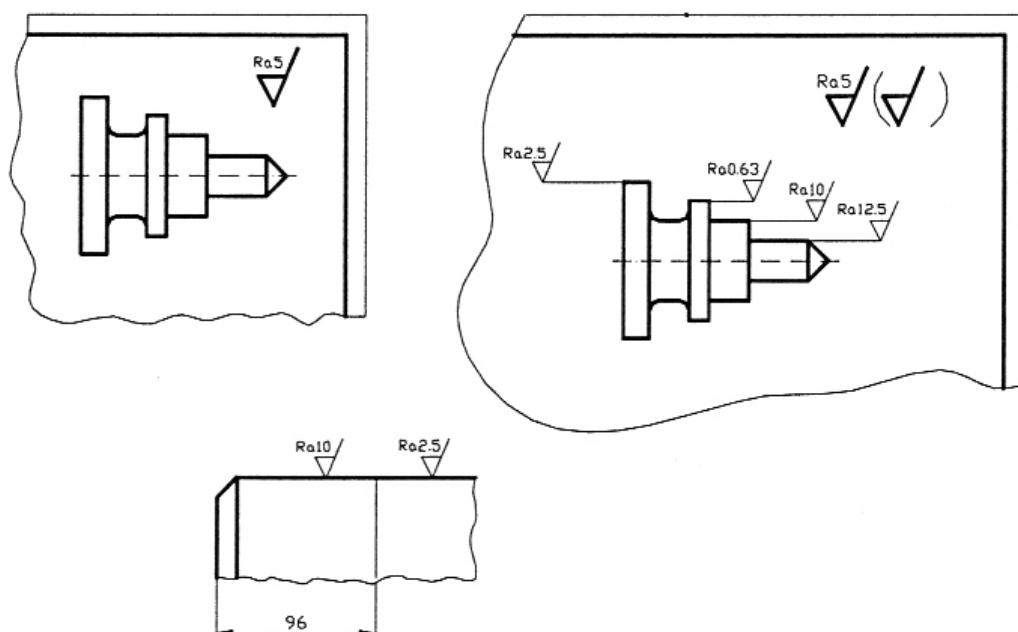
punktowa

Znak i przykład pełnego oznaczenia chropowatości powierzchni przedstawiono na rysunku 6.20.

Przykłady zastosowania oznaczania chropowatości powierzchni detali przedstawiono na rysunku 6.21.



Rys. 6.20. Pełne oznaczenie chropowatości



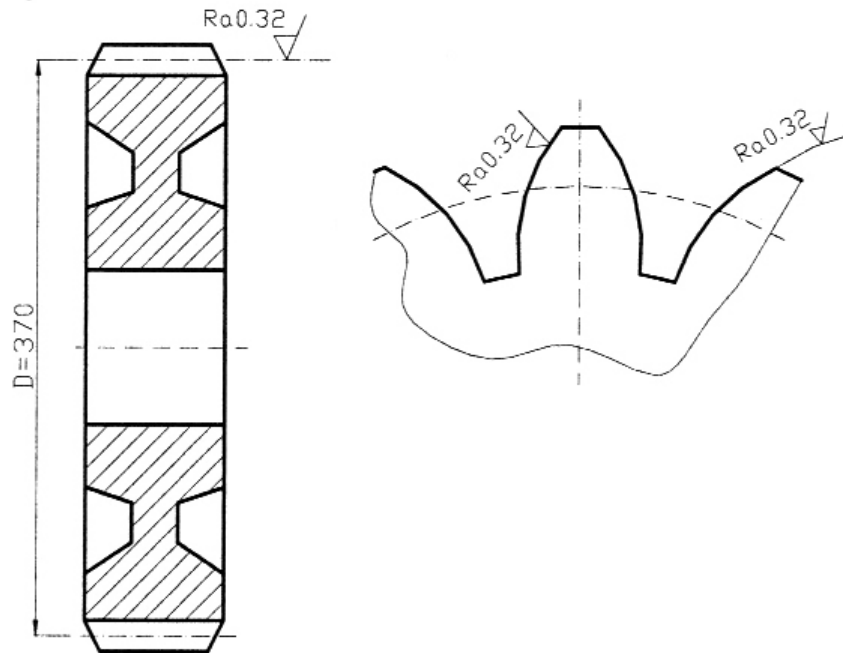
Rys. 6.21a. Przykład oznaczania chropowatości wałka

Dodatkowe informacje dotyczące kierunkowości struktury powierzchni obrabianej można znaleźć w literaturze [1, 2].

W zapisie graficznym istotne jest również oznaczenie obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej przedmiotów (detali) oraz wymagań dotyczących właściwości materiału po obróbce cieplnej, np. twardość, wytrzymałość itp.

Kolejność, w jakiej podaje się dane jest następująca:

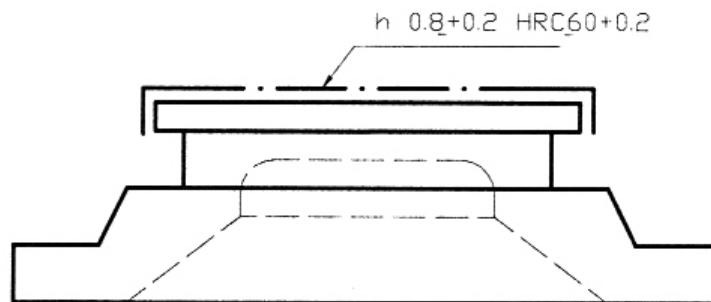
- nazwa rodzaju obróbki (gdy wymagane jest słowne określenie obróbki),
- głębokość h warstwy utwardzonej przez obróbkę cieplną wraz z dopuszczalnymi odchyłkami,



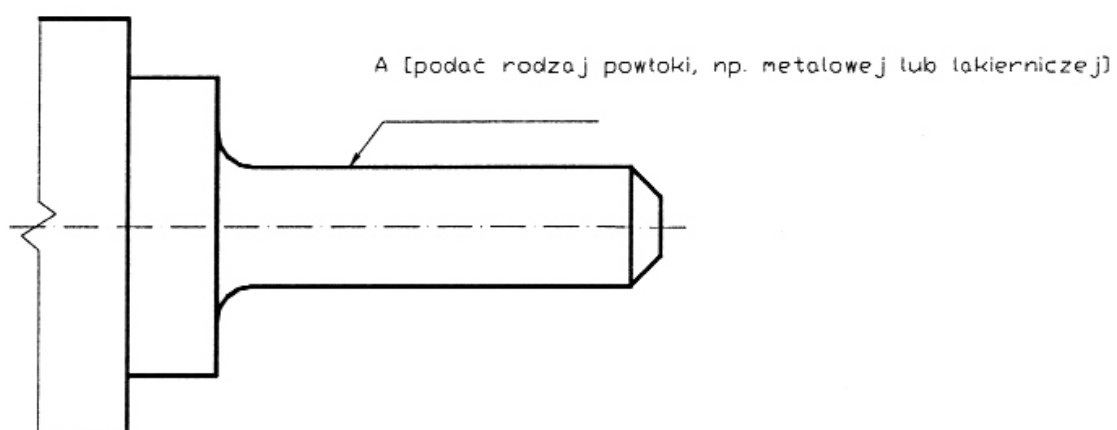
Rys. 6.21b. Przykład oznaczania chropowatości powierzchni zębów

c) twardość: HRC (twardość według skali Rockwella, HB (Brinella), HV (Vickersa), np. HRC 60 ± 2 .

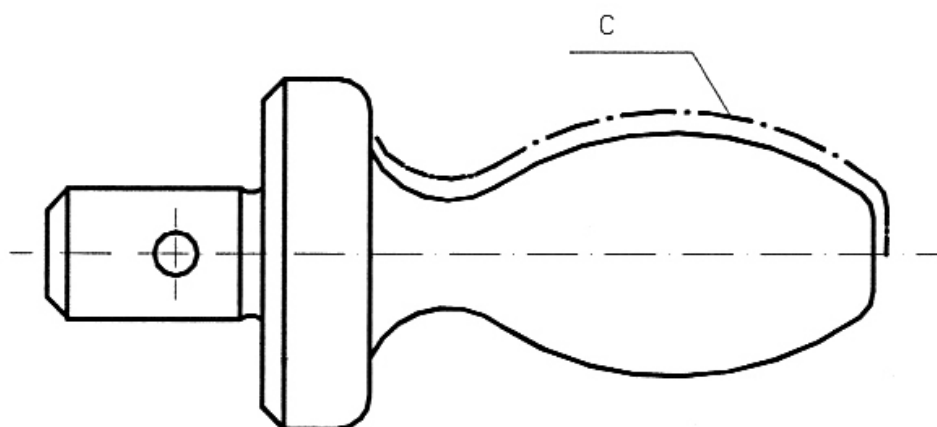
W podobny sposób oznacza się powłoki umieszczane na powierzchniach elementów (detali), np. powłoki lakierowe, ceramiczne, metalowe. Powłoki te zaznacza się za pomocą linii punktowej grubej poprowadzonej równoległe do powierzchni powlekanej oraz linii odniesienia ze strzałką i opisem słownym, np. niklować, chromować itp. (rys. 6.23).



Rys. 6.22a. Oznaczanie obróbki cieplnej



Rys. 6.22b. Oznaczanie obróbki cieplno-chemicznej



Rys. 6.23. Oznaczenie powłok powierzchniowych