



## BUDUJEMY MIKROSKOP

Na pewno spora liczba czytelników „Młodego Technika” zainteresowana jest mikroskopem ukrytym przed nieuzbrojonym okiem. Najprościej wziąć lupę do ręki i już wiele drobnych szczegółów otaczającego nas świata staje się światem odkrywanych jak gdyby na nowo.

Niestety, jednak możliwości lupy są dość ograniczone. W zasadzie najczęściej spotykane mają stosunkowo niewielkie powiększenia rzędu 5, 8, 10 $\times$ . Wyjątkowo, bardziej złożone lupy ręczne, a zwłaszcza stolikowe, mogą osiągać większe powiększenia – 20, 30 $\times$ , a niekiedy jeszcze większe. I na tym w zasadzie możliwości lupy się zamykają.

Wystarczy jednak dwie lupy zestawić w pewnej odległości od siebie (jedna nad drugą), a otrzymamy nic innego jak prosty mikroskop. Właśnie taki mikroskop zbudujemy. Wprawdzie jego parametry nie będą porównywalne z mikroskopami fabrycznymi, ale wystarczą, aby zbliżyć się do tego, co dotychczas ukryte było przed naszym wzrokiem.

### Budowa i zasada działania klasycznego mikroskopu

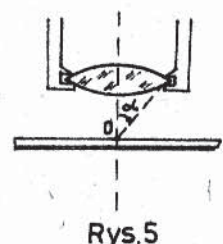
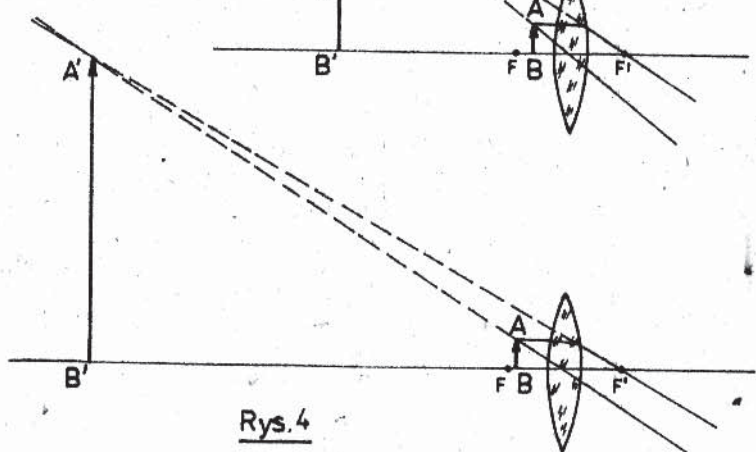
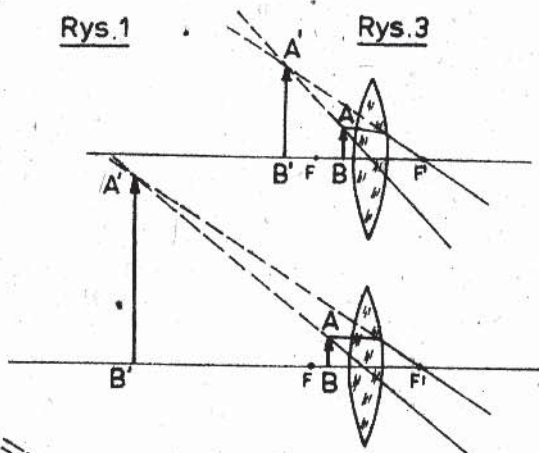
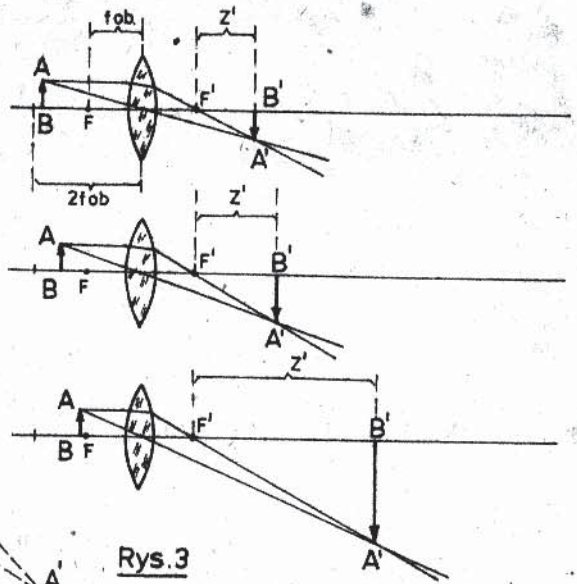
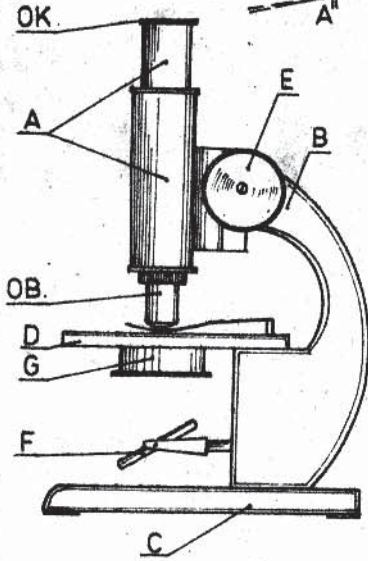
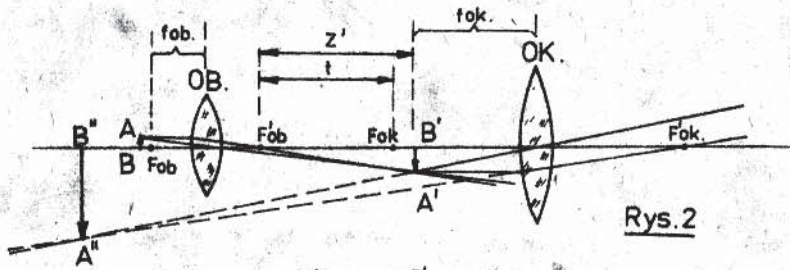
W klasycznym mikroskopie (rys. 1) wspomniane już dwie soczewki (a właściwie dwa układy soczewek, które jednak można rozpatrywać jako pojedyncze soczewki), osadzone są w dwu przeciwległych końcach rury zwanej tubusem (A). Soczewkę dolną zwiemy obiektywem – OB (od strony obiektu obserwacji), natomiast górną – okulem

(OK). Obserwowany przedmiot umieszczony jest na stoliku przedmiotowym (D), umocowanym dokładnie prostopadle do osi podłużnej tubusa. Lusterko (F) służy do skierowania światła na preparat.

Wszystkie wymienione części przymocowane są do statywu (B), który z kolei przytwierdzony jest do podstawy (C). Pokrętko śruby (E) służy do nastawiania mikroskopu na ostrość, przesuwając tubus w dół lub w górę. Zwykle jeszcze pod stolikiem umieszczony jest element soczewkowy – kondensator (G), który ma za zadanie skupienie światła na preparacie, w celu jego rozjaśnienia. Zasada działania rys. 2.

Przedmiot (AB) znajdujący się przed obiektywem (OB) w odległości odrobiny większej niż jego ogniskowa ( $f_{OB}$ ) zostaje przez niego powiększony. Powiększony obraz (A' B') przedmiotu (AB) jest odwrócony i rzeczywisty. Obraz (A' B') powstaje przed okulem (OK) w odległości minimalnie mniejszej niż ogniskowa okularu ( $f_{OK}$ ). Okular działa jak lupa i wtórnie powiększa obraz (A' B') tworząc obraz (A'' B''), powiększony, pozorny, prosty w stosunku do obrazu (A' B'), ale powiększony, pozorny i odwrócony w stosunku do przedmiotu (AB).

Pojedyncze soczewki obarczone są szeregiem wad, tzw. aberracji. Najważniejsze z nich to: aberracja sferyczna i chromatyczna, dystorsja, astygmatyzm, koma. Dlatego też obiektywy współczesnych mikroskopów składają się z większej liczby soczewek (nawet 12) tak dobranych, że razem niwelują wymienione aberracje.



## Powiększenie mikroskopu i zdolność rozdzielcza obiektywu (najważniejsze parametry użytkowe)

Powiększenie całkowite mikroskopu – „ $P_c$ ” równe jest iloczynowi powiększeń obiektywu i okularu.

$$P_c = P_{OB} \cdot P_{OK}$$

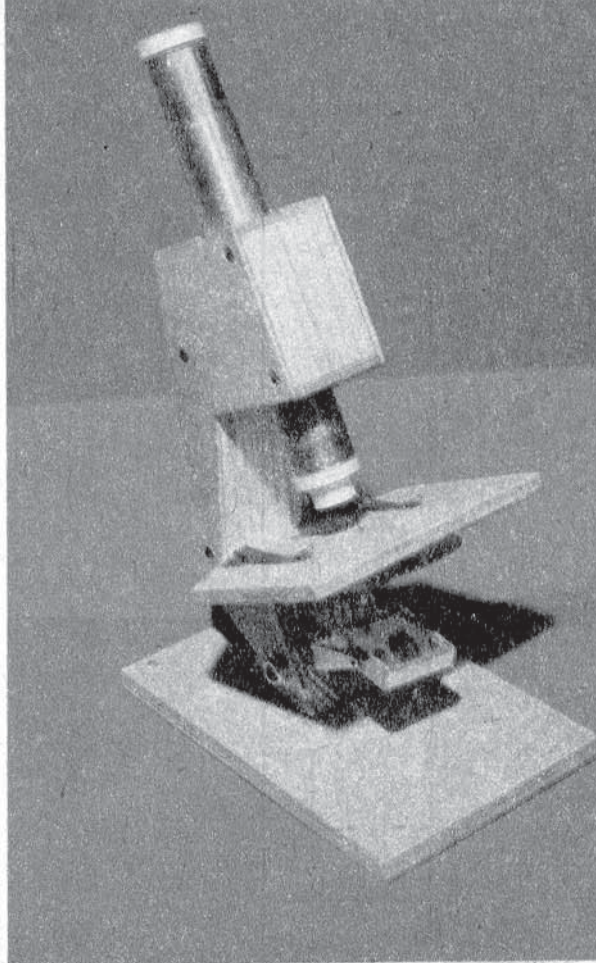
Aby obraz wytworzony przez obiektyw mógł być wtórnie powiększony przez okular, musi on rzecz jasna wytworzyć się po przeciwnej stronie soczewki obiektywu niż przedmiot. Równocześnie obraz ów musi być powiększony w stosunku do przedmiotu. Oba warunki spełnia takie położenie przedmiotu (AB) przed soczewką obiektywu, że jego odległość od owej soczewki jest większa, niż ogniskowa obiektywu ( $f_{OB}$ ), ale mniejsza od podwójnej ogniskowej. Jednocześnie im bardziej będziemy przedmiot (AB) przesuwać ku soczewce obiektywu (ale tak, aby odległość przedmiotu od obiektywu była ciągle większa od ogniskowej  $f_{OB}$ ), tym obraz (A' B') wytwarzany przez obiektyw będzie większy. Równocześnie zwiększa się odległość obrazu (A' B') od obiektywu (rys. 3). Powiększenie soczewki obiektywu przy takim położeniu przedmiotu (AB), że jego odległość od soczewki jest większa, niż ogniskowa, wyrażamy stosunkiem odległości (Z') obrazu (A' B') od ogniska obrazowego (F') obiektywu (OB) do długości ogniskowej ( $f_{OB}$ ). Jest to tzw. wzór Newtona:

$$\beta_{OB} = - \frac{Z'}{f_{OB}}$$

Ze wzoru widać, iż powiększenie obiektywu jest wprost proporcjonalne do odległości obrazu (A' B') od ogniska obrazowego (F') a ta odległość, jak już wykazano na schematach z rys. 3, zwiększa się w miarę, jak zmniejsza się odległość przedmiotu (AB) od ogniska przedmiotowego (F) a odwrotnie proporcjonalne do ogniskowej obiektywu. Powiększenie okularu zależy od jego ogniskowej, a także od odległości obrazu (A' B') od soczewki okularu. Określa je wzór na powiększenie lupy, jako że taką rolę spełnia okular w stosunku do obrazu (A' B'):

$$\beta_{OK} = \frac{250}{f_{OK}}$$

Schemat działania okularu w mikroskopie pokazuje rys. 2. Obraz (A' B') znajduje się



prawie w ognisku przedmiotowym ( $F_1$ ) okularu (nieco poza nim w stronę soczewki), gdyż wtedy obraz (A' B'') wytwarzany przez okular jest największy. Zależność wielkości obrazu (A' B'') wytworzonego przez okular od położenia obrazu (A' B'), który spełnia rolę przedmiotu dla okularu pokazuje rys. 4.

Podsumowując można stwierdzić, że aby powiększenie obiektywu było jak największe, przedmiot (AB) musi znajdować się w odległości jak najmniejszej od obiektywu, ale nie mniejszej niż ogniskowa. Natomiast, aby powiększenie okularu było też jak największe, obraz (A' B') wytworzony przez obiektyw, a stanowiący przedmiot dla okularu, musi znajdować się w odległości jak największej od soczewki okularu, ale nie większej od jej ogniskowej.

Z tych wszystkich rozważań widać, że odległość obrazu (A' B') od ogniska obrazowego (F') obiektywu, oznaczona (Z') na rys. 2, jest prawie identyczna z odległością od ogniska obrazowego (F') obiektywu do



ogniska przedmiotowego ( $F_1$ ) okularu, zwaną długością optyczną tubusa – „ $t$ ”. Pierwotnie, powiększenie całkowite ( $P_C$ ) mikroskopu moglibyśmy zapisać jako

$$P_C = P_{OB} \cdot P_{OK} = - \frac{z'}{f_{OB}} \cdot \frac{250}{f_{OK}}$$

Skoro  $z' = t$ , to wzór na  $P_C$  możemy napisać ostatecznie:

$$P_C = - \frac{t}{f_{OB}} \cdot \frac{250}{f_{OK}}$$

Widać, że „ $P_C$ ” mikroskopu jest wprost proporcjonalne do długości optycznej tubusa „ $t$ ” (równiej  $z'$ ). Z tego wzoru, dysponując soczewkami o znanych (np. samodzielnie wyznaczonych) ogniskowych możemy, dla z góry określonej długości optycznej tubusa „ $t$ ”, określić  $P_C$  mikroskopu. Możemy również postąpić odwrotnie i obliczyć jaką długość „ $t$ ” musiałby mieć nasz mikroskop, aby powiększał np.  $100\times$ .

Zdolność rozdzielcza – jest to taka najmniejsza odległość dzieląca dwa punkty przedmiotu, przy której są one jeszcze widoczne jako dwa oddzielne.

Wzór na zdolność rozdzielczą ma postać:

$$d = \frac{\lambda}{A}$$

gdzie:  $\lambda$  – długość fali światła użytego do obserwacji,

$A$  – tzw. apertura numeryczna, z kolei

$$A = n \cdot \sin \alpha$$

gdzie:  $n$  – współczynnik załamania ośrodka między przedmiotem a obiektywem,

$\alpha$  – kąt zawarty między promieniem przechodzącym przez środek soczewki i punktowemu przedmiot, a ostatnim promieniem wychodzącym z tegoż punktu, który jeszcze wchodzi do soczewki (rys. 5).

Ze wzoru oraz rys. 5 widać, że „ $d$ ” jest mniejsza, im odległość soczewka – przedmiot jest mniejsza oraz, gdy średnica czynna (nie przesłonięta) soczewki jest większa.

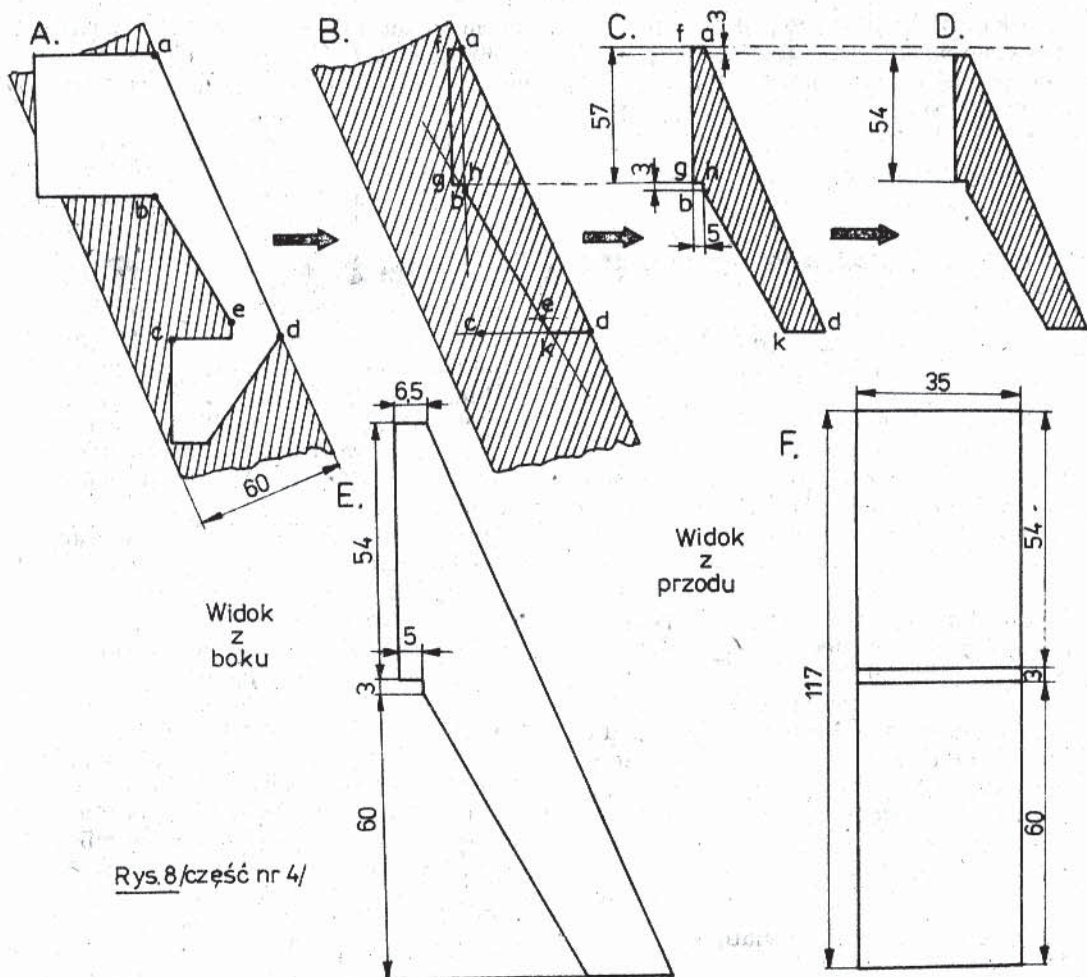
### Wykonanie mikroskopu

1) **Materiały:** sklejka 3 mm, sklejka 5 mm, sklejka (względnie deska) 10 mm, kłoczek drewniany  $300 \times 60 \times 36$  mm, brystol, bla-

cha mosiężna lub inna, stosunkowo łatwa w obróbce, grubości 1 mm, kawałek taśmy stalowej, np. od opakowania drewnianych skrzyń (o taśmę taką należy spytać w sklepach gospodarstwa domowego, gdyż często lodówki, pralki itp. pakowane są w drewniane osłony wzmacniane taką właśnie taśmą). Blaszka z puszeki po konserwach, kawałek lusterka grubości 2 mm (ostatecznie może być nieco grubsze, ale lepiej postarać się o dość cienkie), wkłady do drewna (najlepiej długości 20 mm i średnicy około 2–3 mm), śruba z motylkową nakrętką (ewentualnie ze zwykłą), tzw. złączka do wędek o średnicy zewnętrznej 20–25 mm (jest to mosiężna rurka złożona z dwóch części – dłuższej, oraz krótszej, wsuniętej w tę pierwszą). Złączkę taką możemy nabyć za sto kilkadziesiąt złotych w sklepie wędkarskim. Kupując złączkę trzeba dobrze sprawdzić, czy nie ma żadnych wgłębi i spłaszczeń oraz czy rurka wewnętrzna wsuwa się i wysuwa stosunkowo łatwo, ale tak, aby sama po wysunięciu nie opadała.

Najważniejszymi częściami, które musimy zdobyć są soczewki. Właśnie z nimi jest największy zawsze kłopot. Dlatego też nie narzucamy majsterkowiczom konkretnych soczewek, które należy wstawić do mikroskopu, a tylko podajemy sposób ich oprawienia i zamocowania w tubusie. Poza niektórymi wymiarami obiektywu i okularu, które będą zależeć od posiadanych przez nas soczewek, pozostałe wymiary obiektywu i okularu oraz reszty części mikroskopu będą takie, jak na schematach. Takie podejście do sprawy zapewnia możliwość budowy mikroskopu szerszemu gronu majsterkowiczów.

A teraz słów parę co do naszych soczewek. Otóż jeżeli posiadamy już jakieś soczewki, to do budowy mikroskopu wybieramy: na obiektyw soczewkę o krótszej ogniskowej, a na okular o nieco dłuższej, lub równej ogniskowej obiektywu. Przy tym średnica zarówno soczewki obiektywowej jak i okularowej powinna być mniejsza od wewnętrznej średnicy krótszej rurki złączki do wędki. Najlepiej, gdy ogniskowe obiektywu i okularu mają wartość 10–20 mm, gdyż soczewki pojedyncze o krótszej niż 10 mm ogniskowej cechuje spotęgowanie wad optycznych (aberracji), natomiast soczewki o ogniskowej dłuższej niż 20 mm dają już



Rys. 8/część nr 4/

stosunkowo za małe powiększenia. Jak więc widać, wybór właściwej, pojedynczej soczewki jest kompromisem pomiędzy jakością odwzorowania, a powiększeniem. Być może niektórzy dysponują układami tzw. achromatycznymi (dwie sklejone soczewki – dodatnia z ujemną), wtedy takiego układu należy użyć jako obiektywu. Cechuje go dość dobra korekcja chromatyczna i sferyczna, nieporównanie lepsza, niż pojedynczej soczewki.

Gdy nie posiadamy żadnych soczewek możemy udać się do sklepu „Fotooptyka” i przy dozie szczęścia zakupić dwie lupy włókiennicze (o powiększeniu 10×). Mają

one nieco dłuższą ogniskową – bo 25 mm, ale trudno. W ogóle jakakolwiek lupa, której soczewka odpowiada wyżej wymienionym wymaganiom (ogniskowa w zakresie 10–20 mm z niewielkimi tolerancjami) może być przez nas zakupiona i wykorzystana po wymontowaniu.

## 2) Wykonanie poszczególnych części:

Budowę mikroskopu rozpoczniemy od wykonania części nr 1 i 2 – (rys. 6). Element przedstawiony na rysunku wycinamy piłką włosową ze sklejki grubości 3 mm. Do dokładnego wyrysowania kształtu tej części najlepiej posłużyć się siatką utworzoną

z równoległych i prostopadłych linii ABC-DEFGHIKL tak, jak pokazuje to rysunek 6. Krzyżykami zaznaczone są miejsca, w których należy wywiercić otwory. Pięć krzyżyków mniejszych oznacza otwory o średnicy 2 mm, w które wkręcone zostaną później przygotowane przez nas wkręty do drewna (takie jak podane przy „Materiałach”). Szósty otwór, zaznaczony najniższym dużym krzyżykiem służy do wetknięcia weń śruby z nakrętką (stanowiącej przegub statywu). Część z rys. 6 wykonujemy w dwóch egzemplarzach (identycznych) przez co uzyskujemy właśnie część nr 1 i 2.

Kolejną częścią, którą wykonamy będzie część nr 3 (rys. 7). Zrobimy ją z klocka drewnianego. Mimo iż część ta jest wykonana z dość grubego kawałka drewna, należy ją wyciąć piłką włosową z dużymi ząbkami (piłki takie możemy nabyć w Składnicy Harcerskiej) ze względu na konieczność zachowania dokładnych wymiarów. Z boku części wierzimy otwór (oznaczony większym krzyżykiem) o średnicy równej szóstemu (największemu) otworowi części 1 i 2. Natomiast z przodu wiercimy otwór o średnicy 2 mm (na wkręt do drewna). Od spodu, na lewym ramieniu wiercimy otwór na przyszły wkręt mocujący tarczę z przesłonami.

Część nr 4 wykonamy też z klocka. Najłatwiej i zarazem najdokładniej będzie ją zrobić w sposób pokazany na rys. 8. Litera A, B, C, D oznaczają kolejne fazy wykonania tej części. Tak więc A – gotową część nr 1 (lub 2) przykładamy z wierzchu do klocka do jego ściany szerokości 60 mm tak, aby krawędź a-d części nr 1 pokrywała się w krawędzią klocka. Następnie ostrym ołówkiem zaznaczamy na klocku punkty a, d, b, e, c. Po zdjęciu części nr 1 (faza – B) wyznaczone punkty łączymy liniami. Otrzymujemy figurę a, b, k, d. Później do boku a-b dorysowujemy prostokąt, którego bokami są: a-f; f-g; g-h; h-a. Boki a-f oraz g-h mają długość 5 mm, natomiast boki f-g i h-a mają długość 57 mm. Ostatecznie otrzymujemy figurę a, f, g, h, b, k, d, którą wycinamy z klocka. Ostatnią czynnością przy wykonaniu tej części jest skrócenie jej górnej części o 3 mm – co przedstawia faza – C. Rysunek D pokazuje gotową część nr 4, natomiast rysunki E, F, część nr 4 zwymiarowaną.

(Dokończenie w następnym numerze)

**Marek Miś**