

# Cykl komórkowy

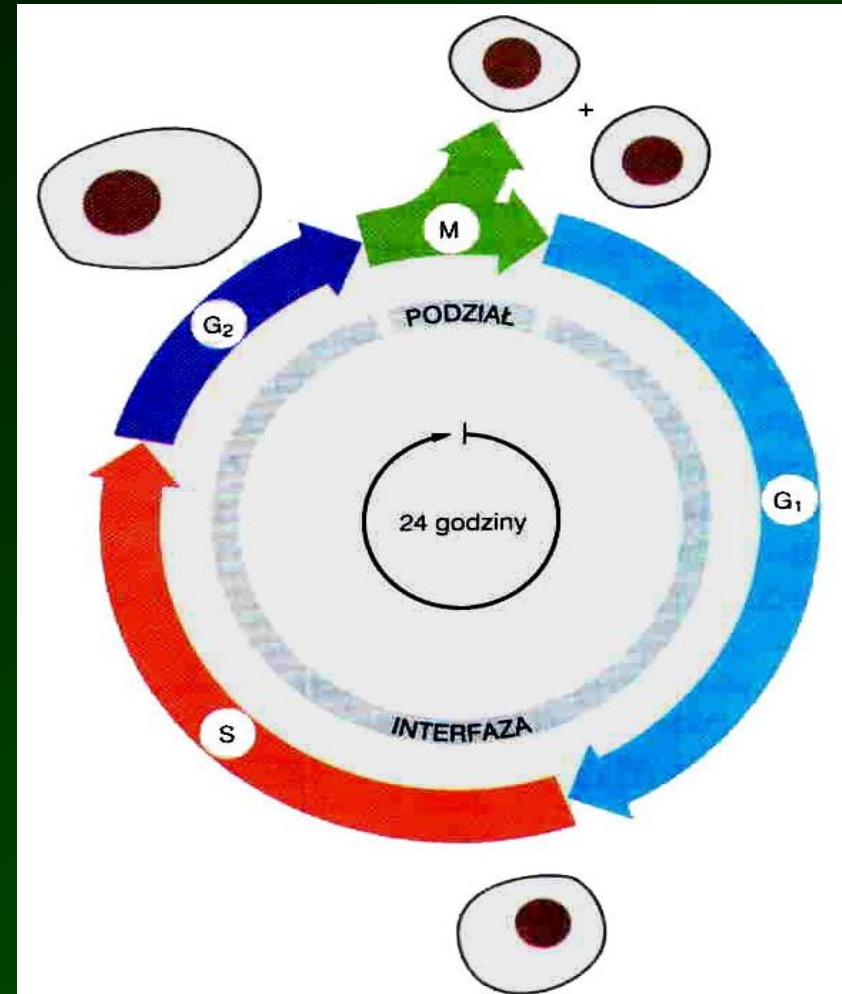
## Rozmnażanie komórek

(powstanie 2 identycznych genetycznie komórek potomnych):

- podwojenie zawartości (**interfaza**)
  - $G_1$ , S,  $G_2$
  - podział komórki (**faza M**)

## Obejmuje:

- podwojenie zawartości komórki (skopiowanie DNA)
- rozdzielenie podwojonej zawartości
- kontrola powyższych procesów



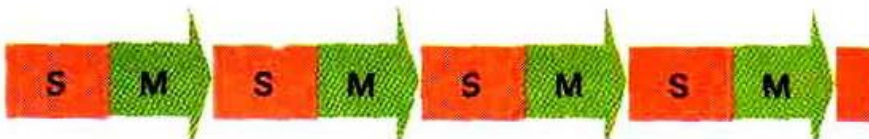
# Cykl komórkowy

Typ komórki	Czas trwania cyklu komórkowego
Komórki drożdży	1,5 – 3 godz
Komórki zarodka żaby	30 min
Komórki nabłonka jelita ssaka	ok. 12 godz
Fibroblasty ssaków	11-24 godz
Hepatocyty ludzkie	ok. 1 rok

standard cell cycle



early embryonic cell cycle



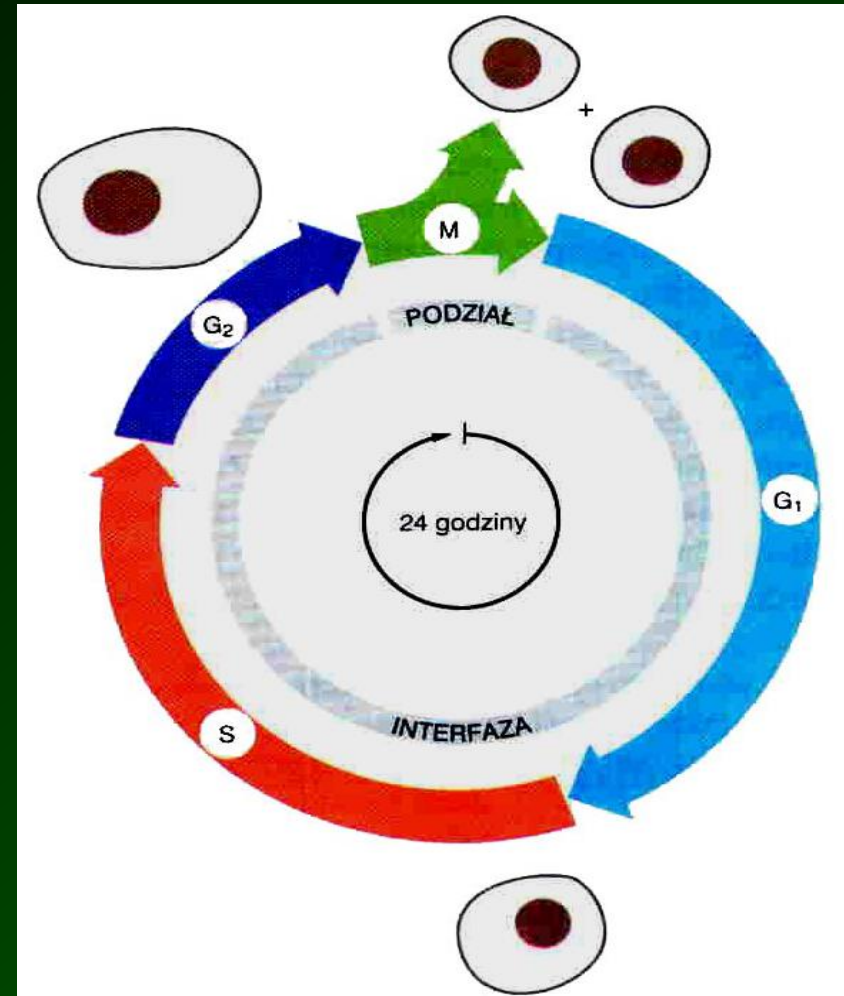
Standardowy cykl komórkowy

Podziały bruzdkowania komórki jajowej po zapłodnieniu

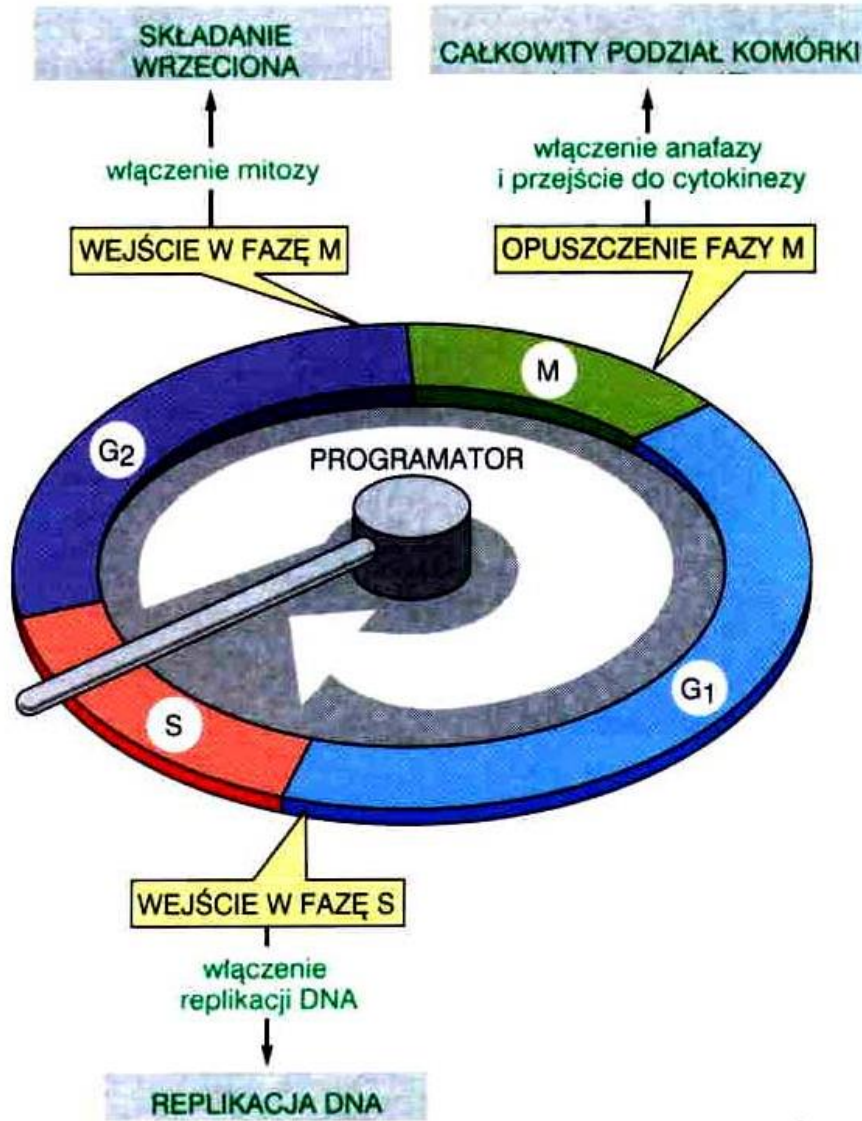
# Cykl komórkowy

## Układ kontroli cyklu komórkowego (biochemiczne przełączniki)

- odpowiada na sygnały z wnętrza:  
kontrola replikacji DNA przed  
rozdzieleniem podwojonych  
chromosomów
- odpowiada na sygnały z otoczenia  
uruchamia lub blokuje podziały



# Centralny układ kontroli cyklu komórkowego



Możliwość zatrzymania cyklu w punktach kontrolnych (*checkpoints*):

G<sub>1</sub>:

- czy DNA nieuszkodzone;
  - czy środowisko odpowiednie
- przejście komórki w G<sub>0</sub>

G<sub>2</sub>:

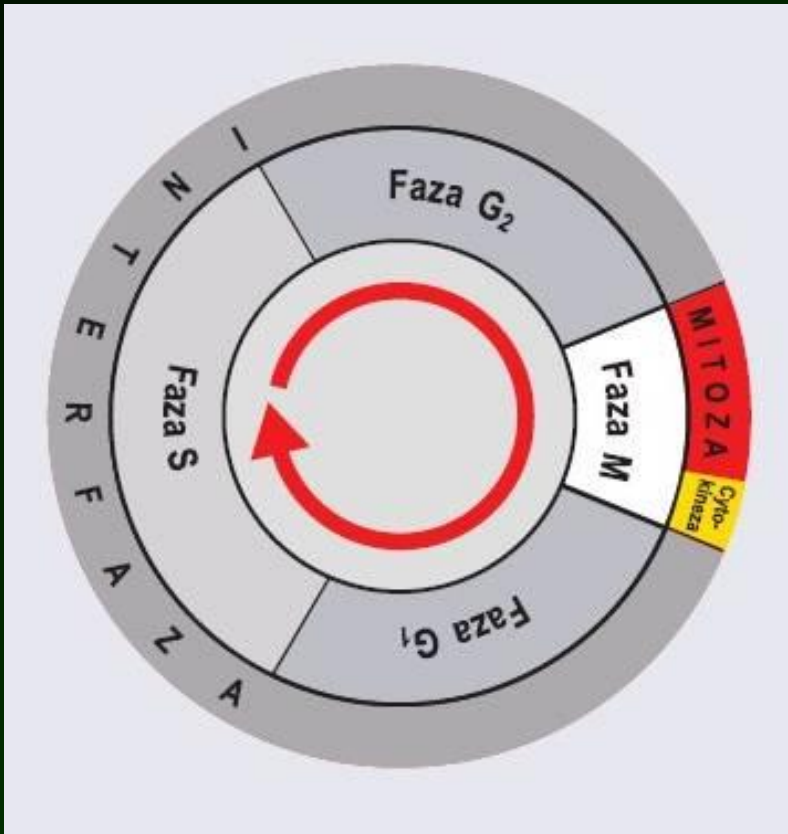
- czy cały DNA zreplikowany;

Układ kontroli cyklu komórkowego przez cyklicznie aktywowane kinazy białkowe (zależne od cyklin)

# Cykl komórkowy – faza M

Cel:

- precyzyjne rozdzielanie zreplikowanych chromosomów
- rozdzielanie innych składników komórki



Faza M

dynamiczna sekwencja zdarzeń

- 6 etapów:

5 faz: profaza

prometafaza

metafaza

anafaza

telofaza

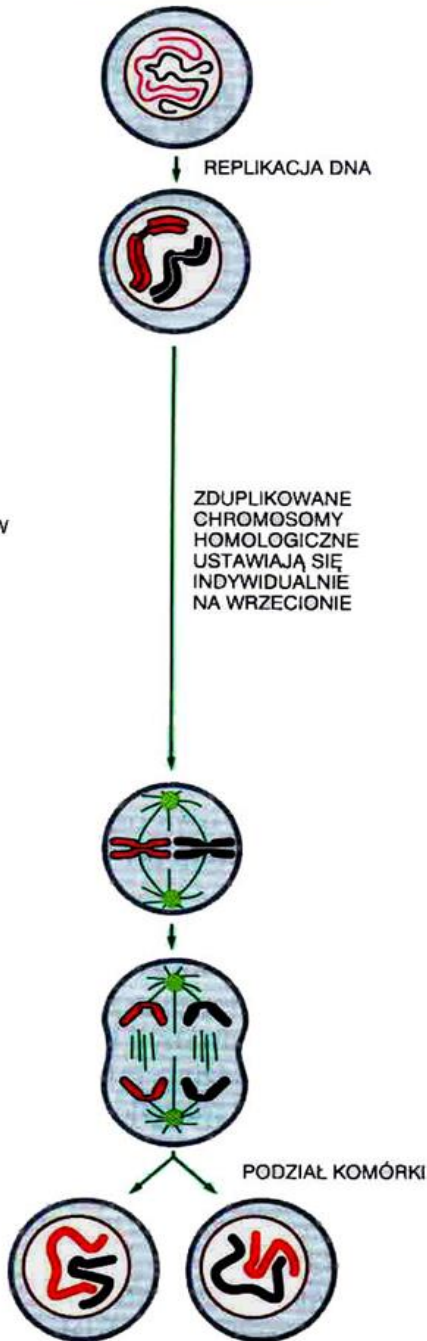
# Podział komórki – faza M

- kariokineza (mitoza)
- podzielenie cytoplazmy (cytokineza)

Kinaza fazy M (M-Cdk) rozpoczyna podział;  
inaktywacja M-Cdk – koniec fazy M;

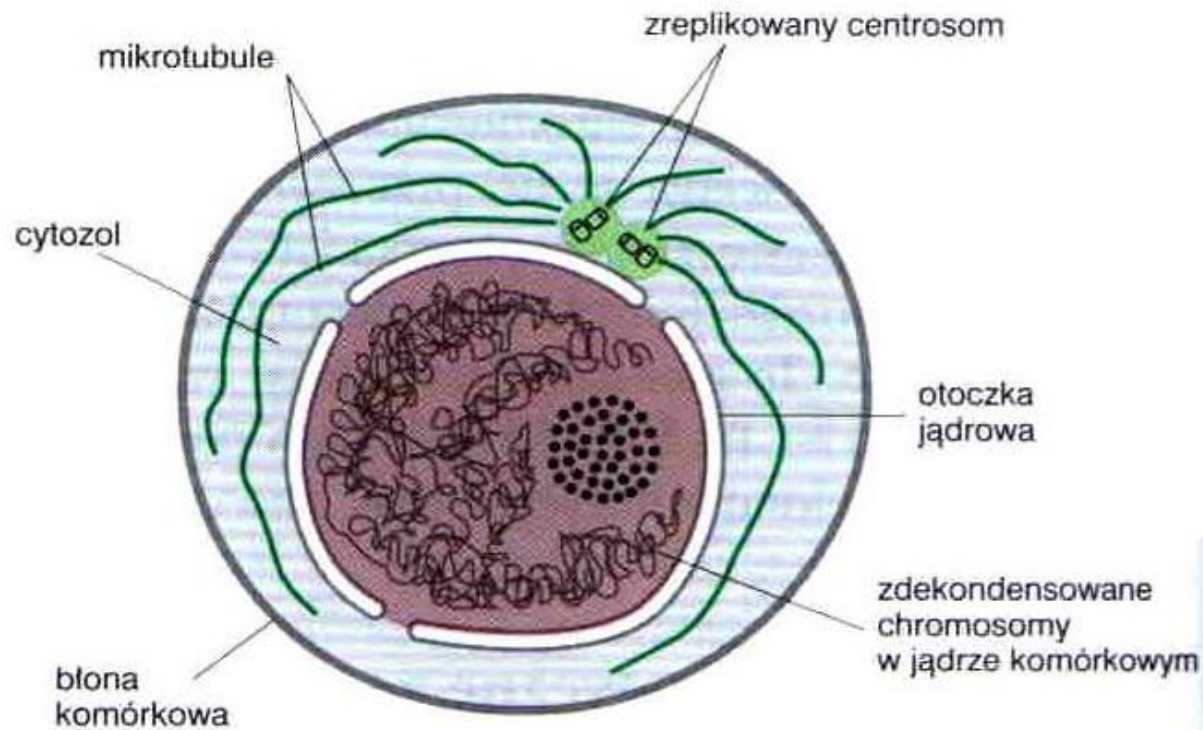
Cel:

- precyzyjne rozdzielanie zreplikowanych chromosomów
- rozdzielanie innych składników komórki



# Przygotowanie do podziału - interfaza

## INTERFAZA



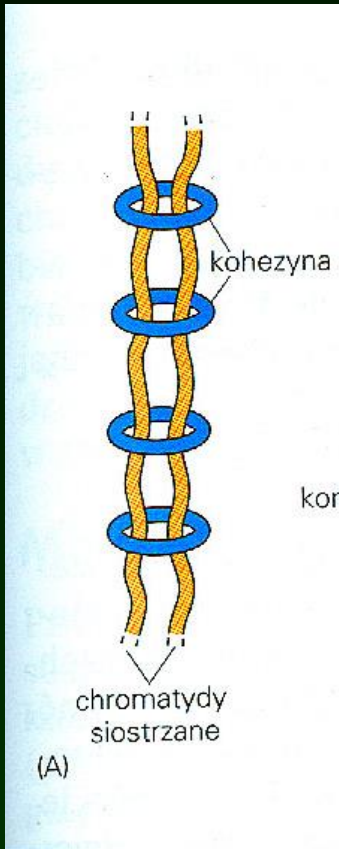
W czasie interfazy komórka powiększa swoje rozmiary.  
DNA w chromosomach i centrosom zostają zreplikowane.

# Interfaza

- podwojenie chromosomów (replikacja DNA- faza S)

chromatyd siostrzane

Połączone przez kohezyny



## kohezyny

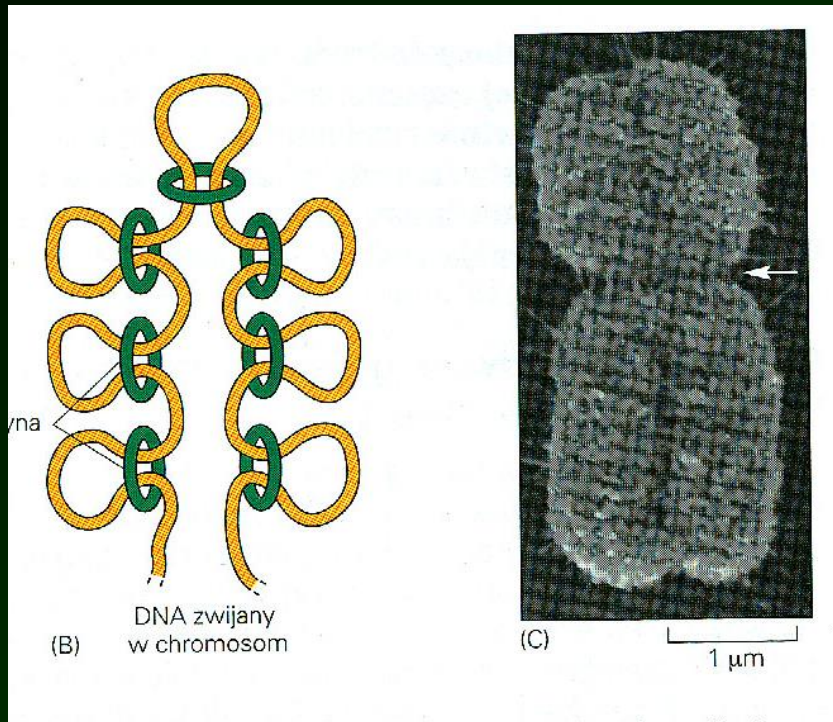
- odpowiadają za kohezję (przyleganie) chromatyd siostrzanych
- ewolucyjnie konserwatywne
- kompleksy czterech białek (SMC -*Structural Maintenance of Chromosomes*)
- model pierścienia



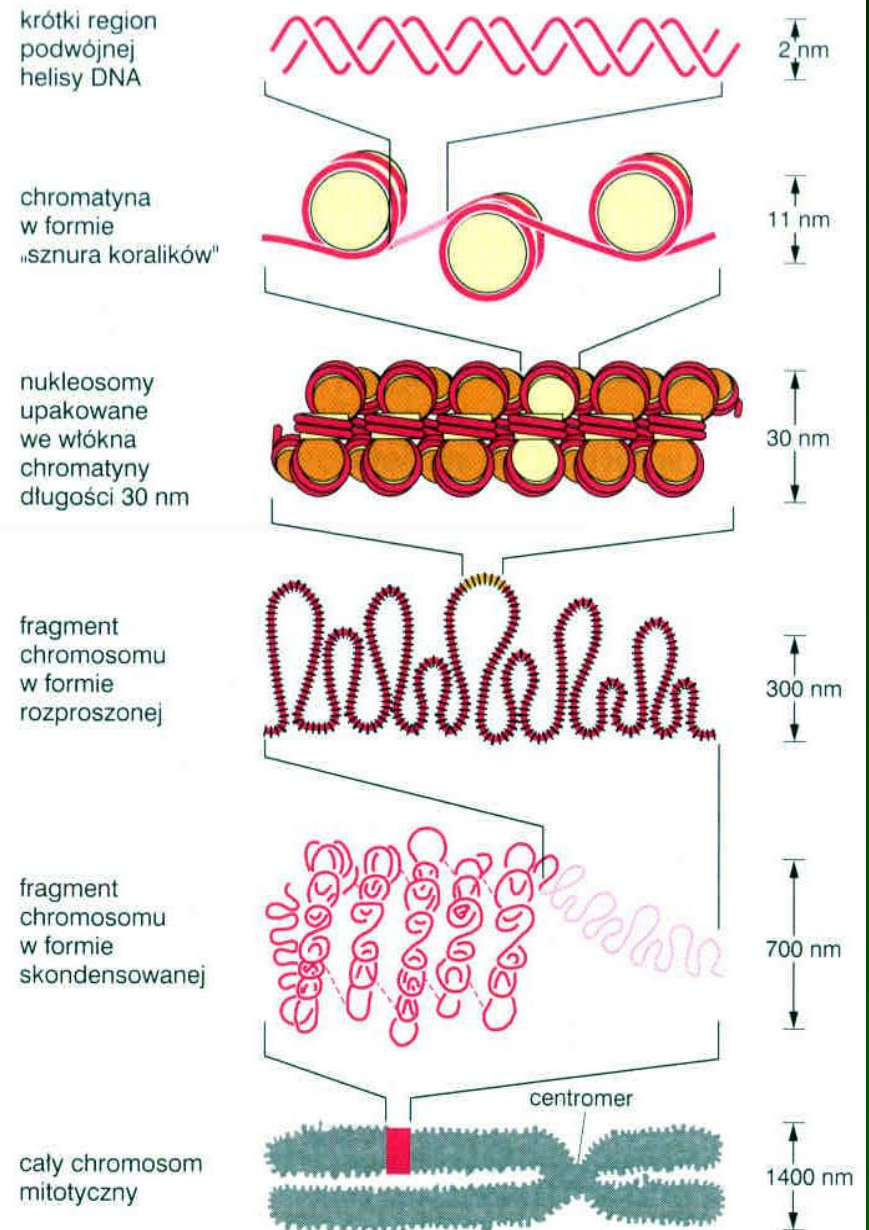
# Interfaza

## - kondensacja chromosomów

Kondensyny – kompleksy białkowe  
(montaż –M-Cdk – fosforylacja kondensyn)

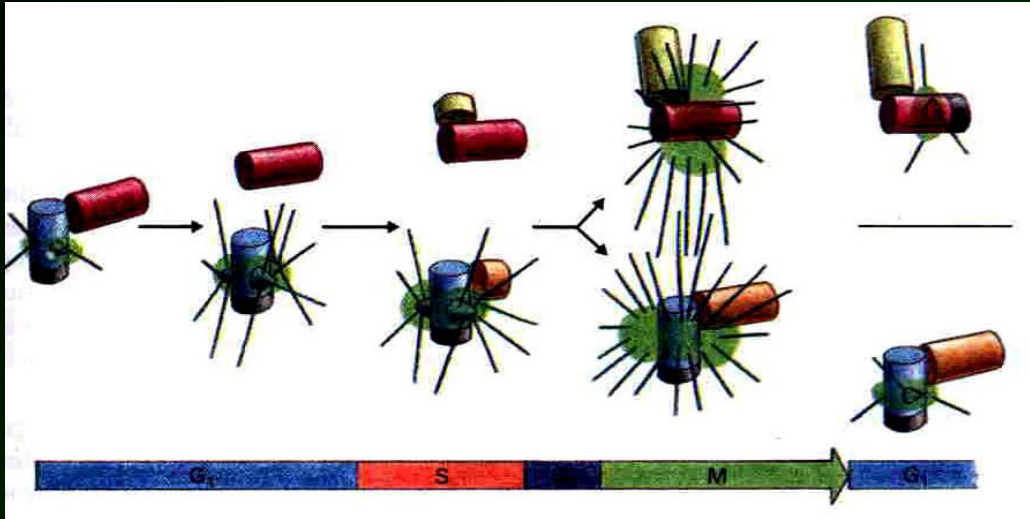


upakowanie DNA: 10 000 – 50 000x



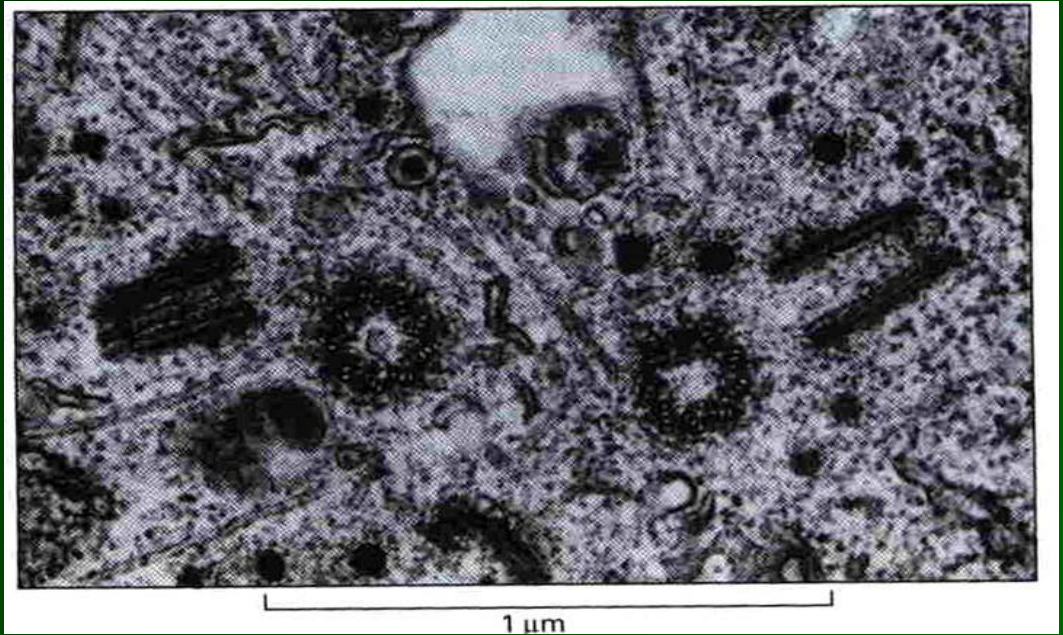
WYNIK KOŃCOWY: NA SKUTEK UPAKOWANIA CZĄSTECZKI DNA W CHROMOSOM MITOTYCZNY JEJ DŁUGOŚĆ SKRACA SIĘ 50 000 RAZY

# interfaza – cykl centrosomowy



- rozpoczęcia na początku fazy S
- duplikacja
- rozdział centrosomów na początku fazy M (2 astrosfery)

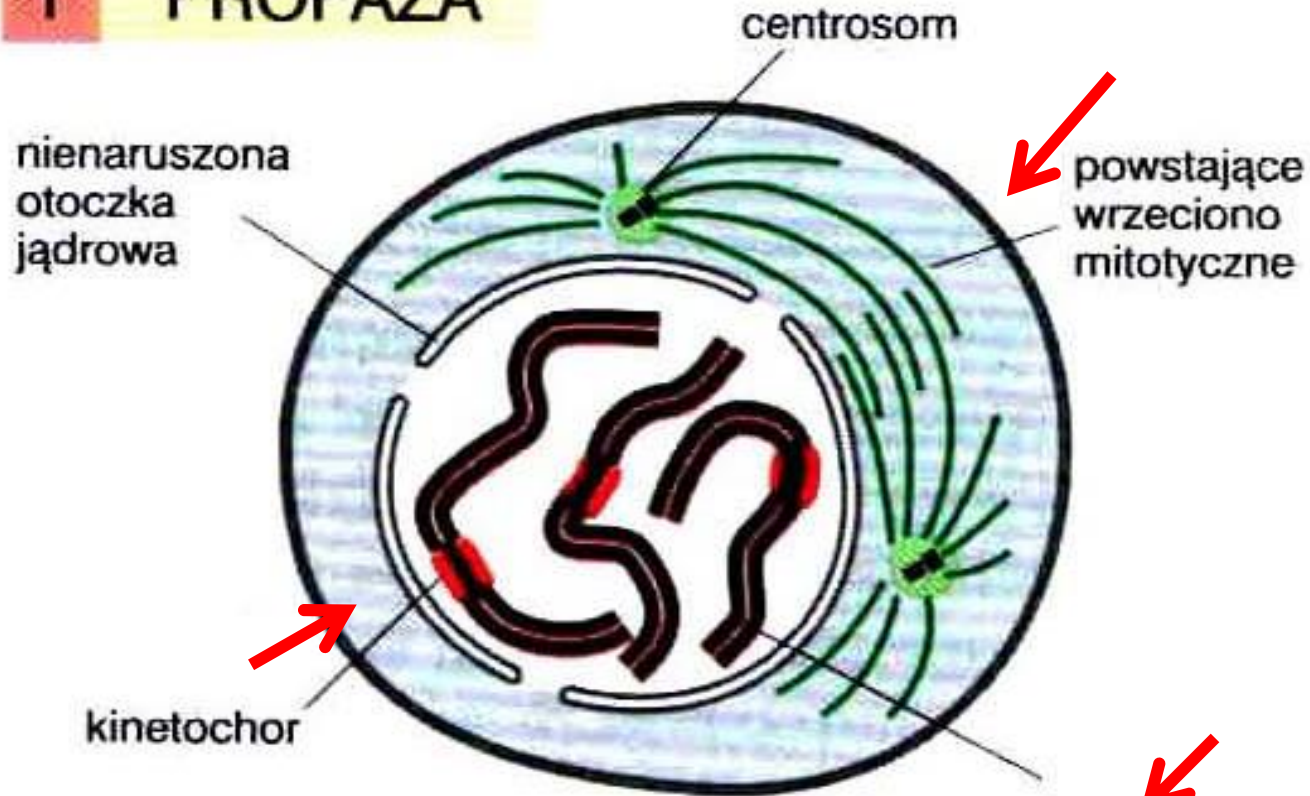
Centrosom – podwojenie  
(amorficzna macierz + setki  
pierścieni  $\gamma$ -tubulinowych)



# Cykl komórkowy – faza M

1

## PROFAZA

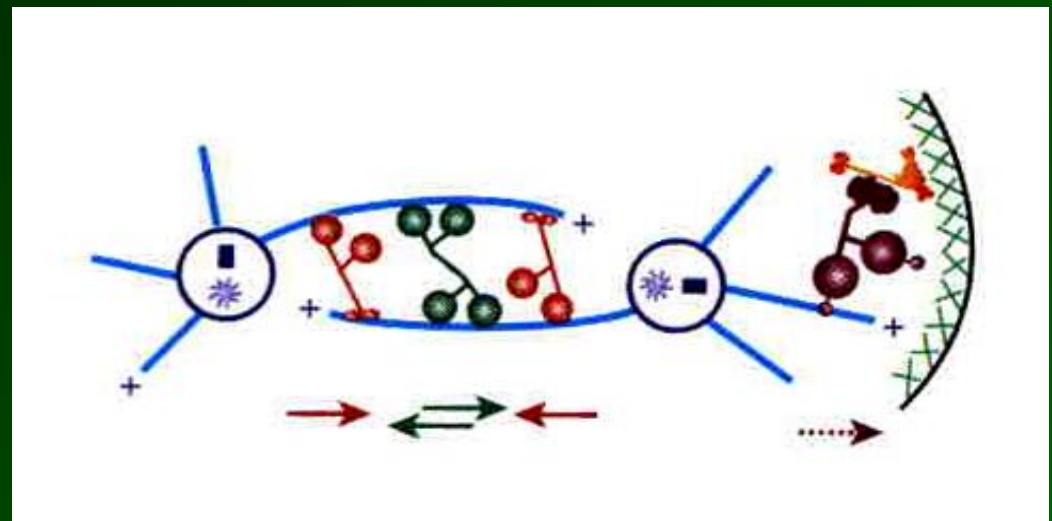
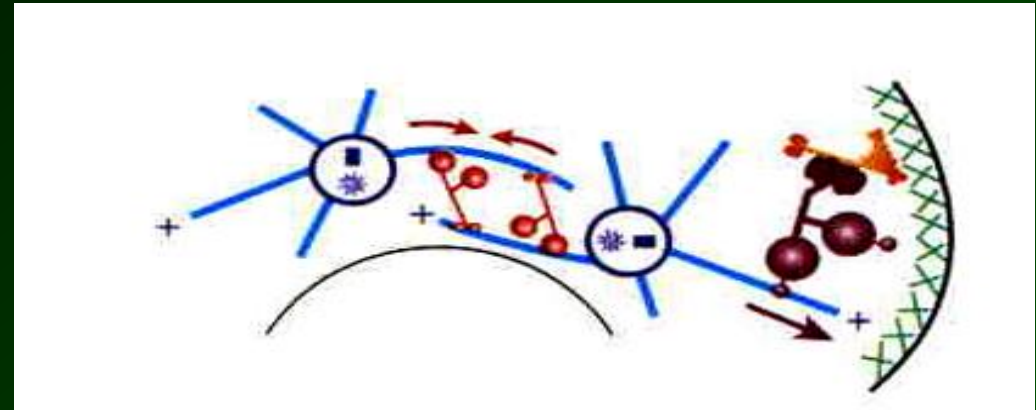
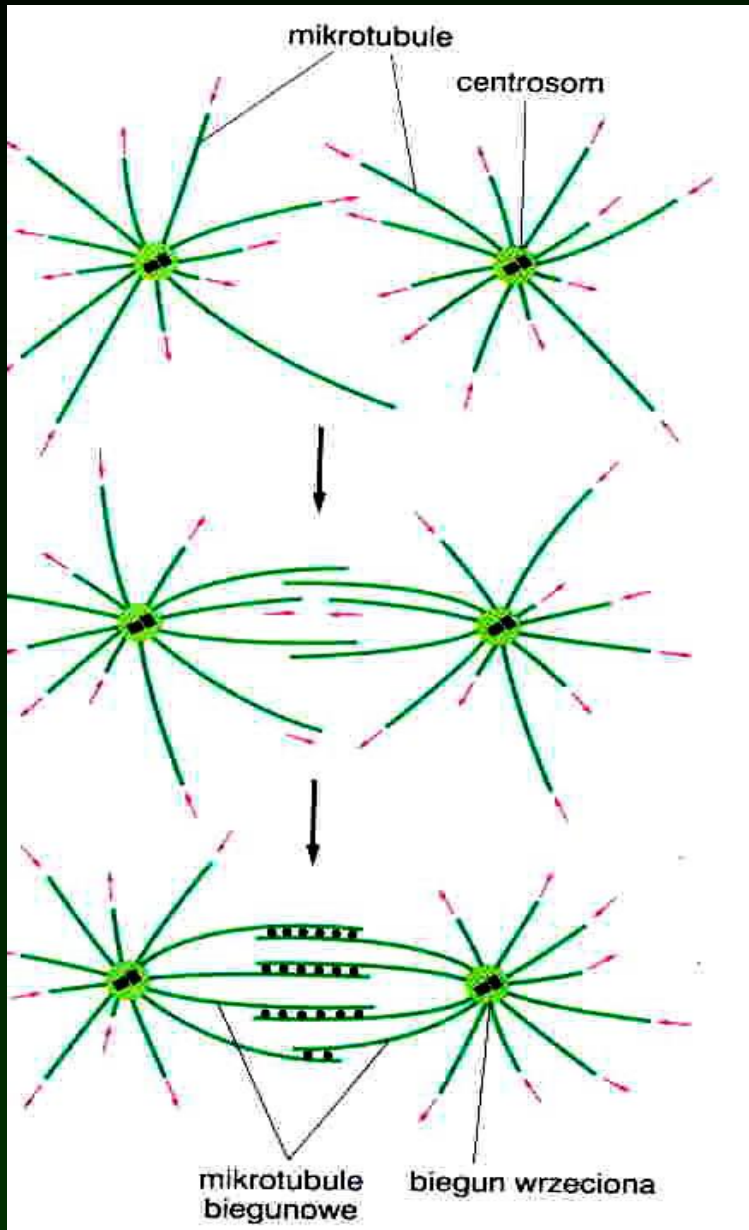


kondensujący chromosom z dwiema chromatydami połączonymi ze sobą na całej długości

# powstawanie wrzeciona

- depolimeryzacja mt cytoplazmat. interfazowych
- powstawanie licznych mt wrzeciona

(dynamiczna niestabilność mt ;  
fosforylacja białek MAP; katastrofiny)

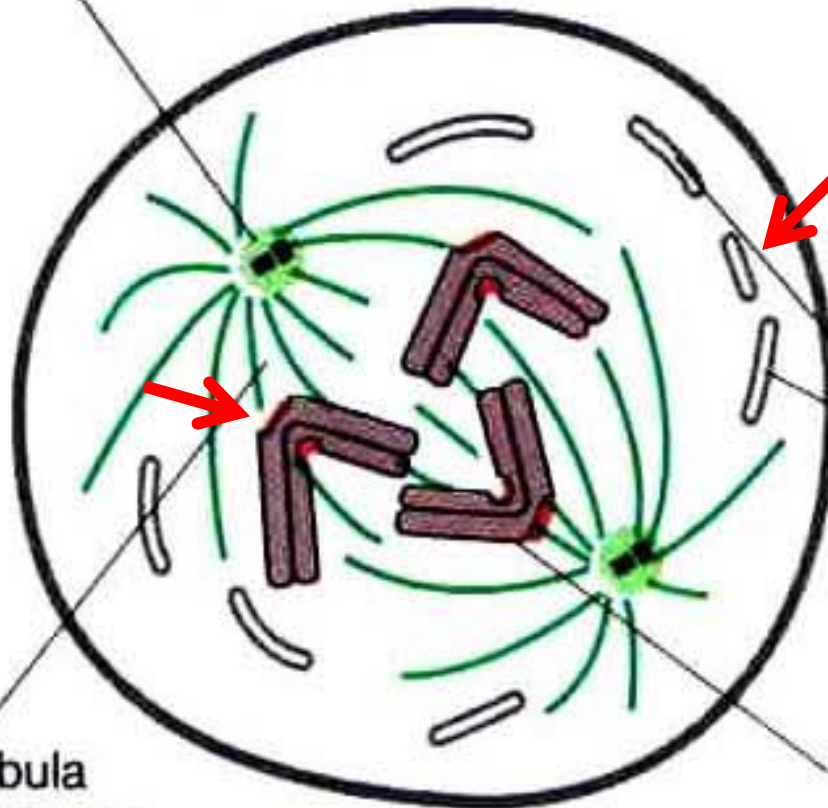


# Cykl komórkowy

2

## PROMETAFAZA

biegun wrzeciona

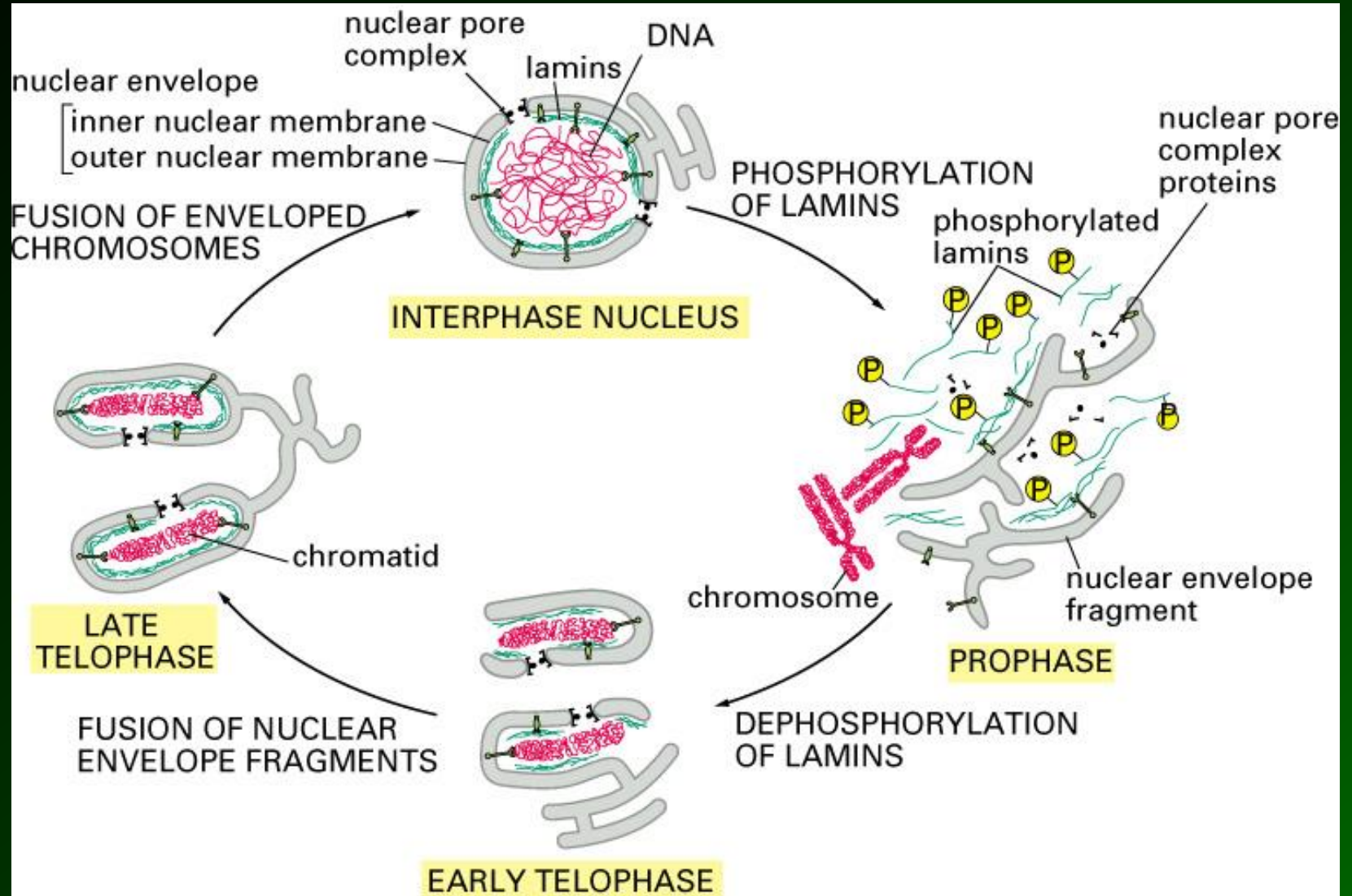


fragmenty otoczki jądrowej

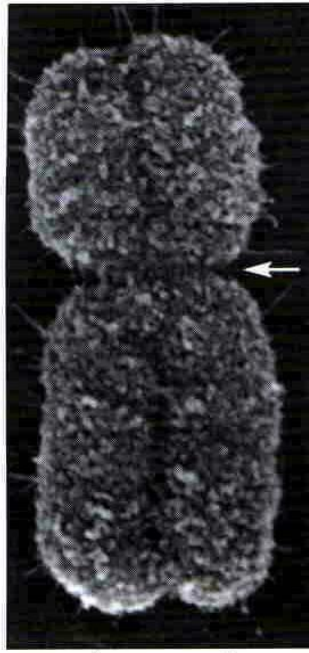
mikrotubula kinetochorowa

aktywnie poruszające się chromosomy

# Cykl komórkowy



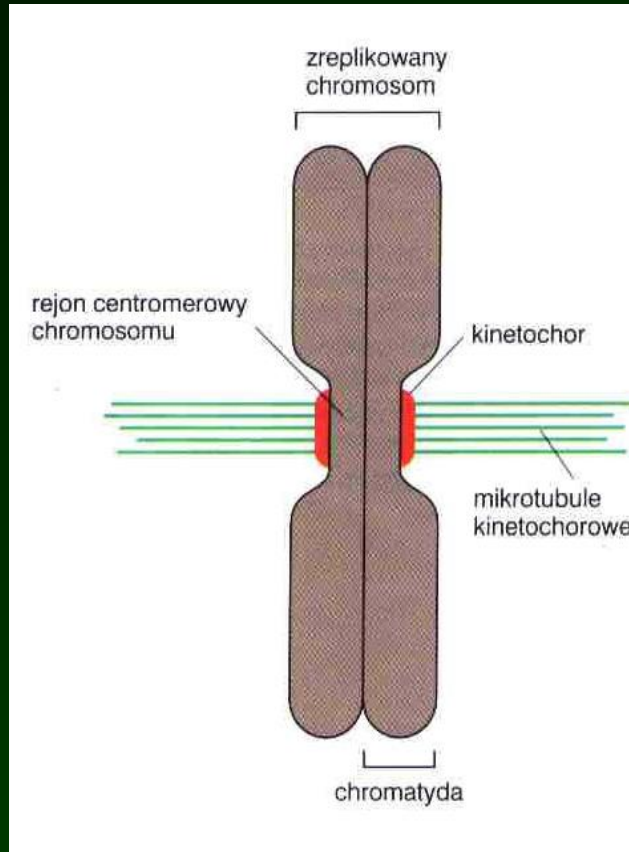
# prometafaza



centromer

1 μm

**Zreplikowany chromosom mitotyczny.**  
(zdjęcie ze skaningowego mikroskopu elektronowego)



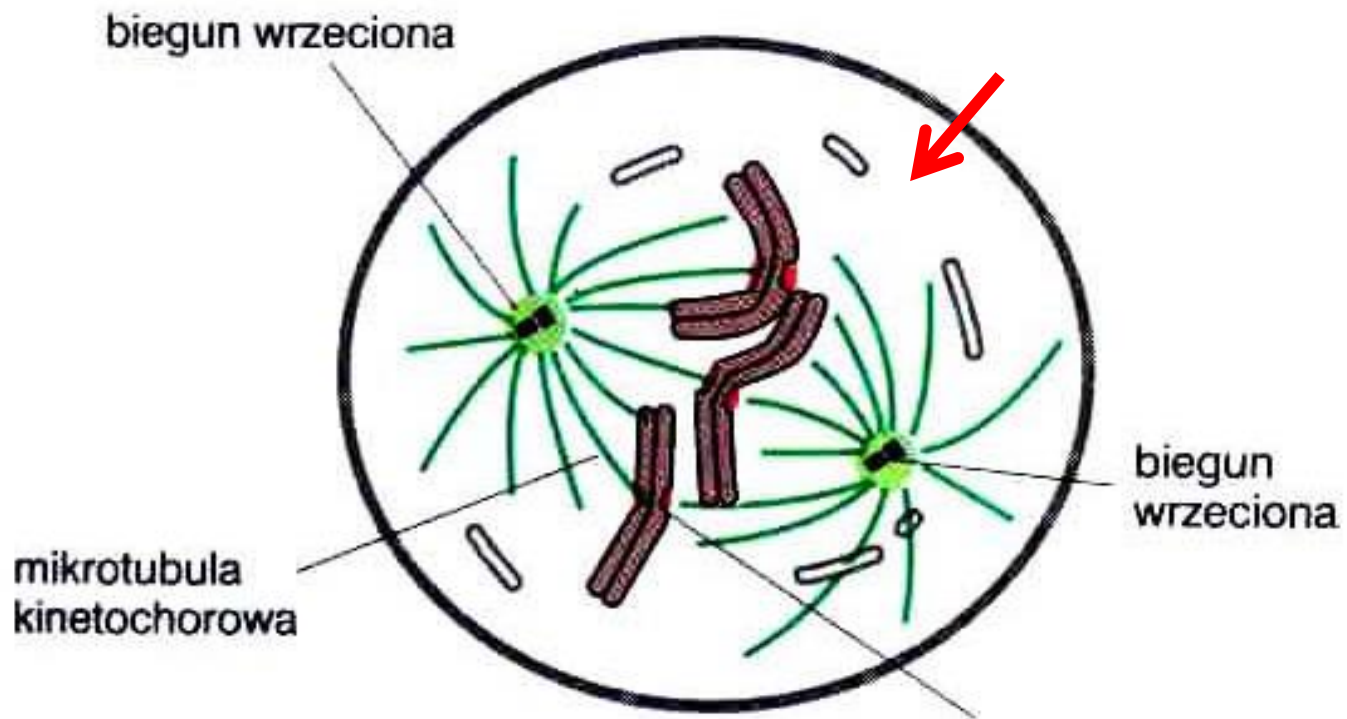
20-40 mt

Kinetochory przyczepiają chromosomy do wrzeciona mitotycznego (konieczna centromerowa sekwencja DNA)

# Cykl komórkowy

3

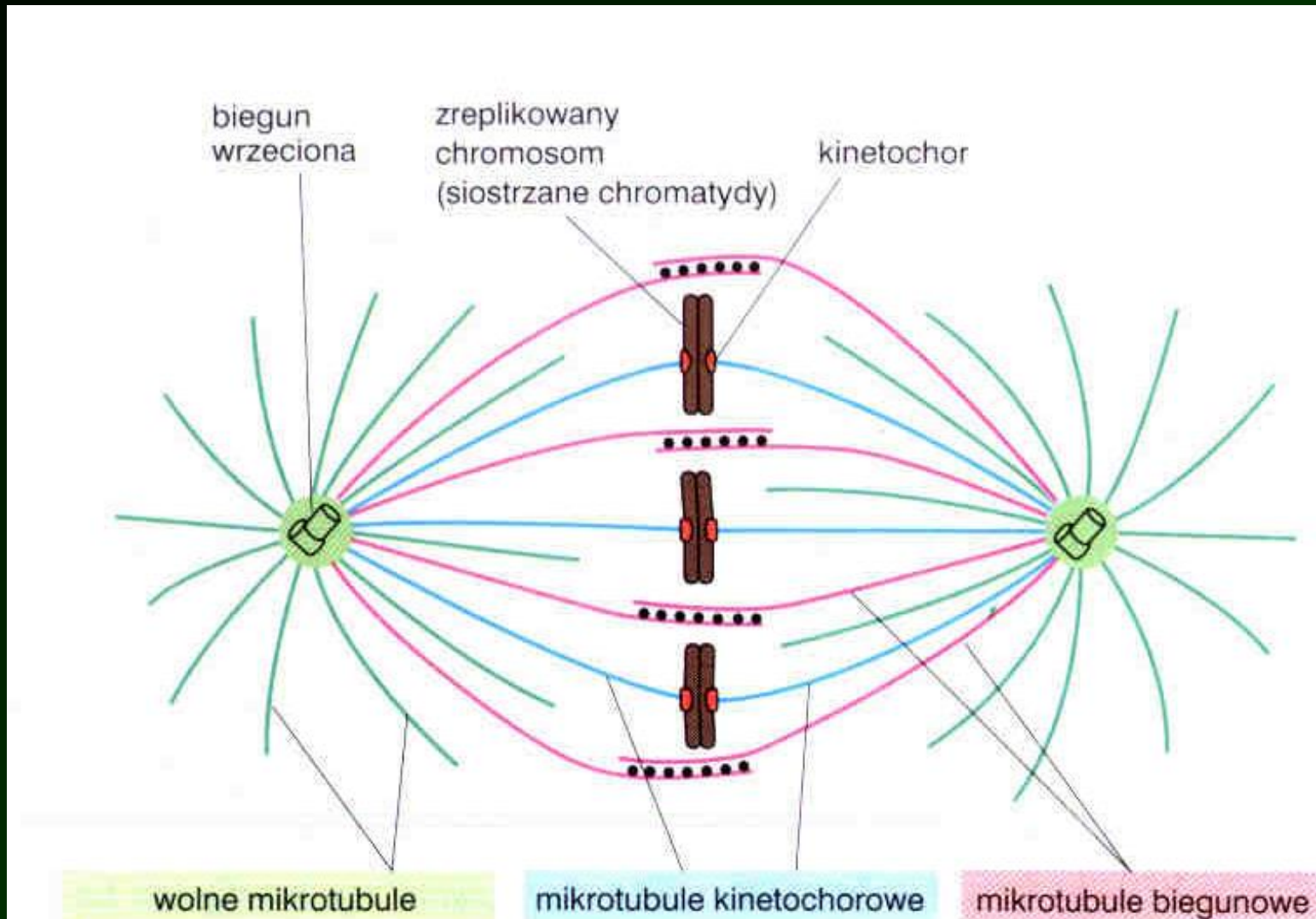
## METAFAZA



kinetochory wszystkich chromosomów  
w płaszczyźnie środkowej pomiędzy  
dwoma biegunami wrzeciona



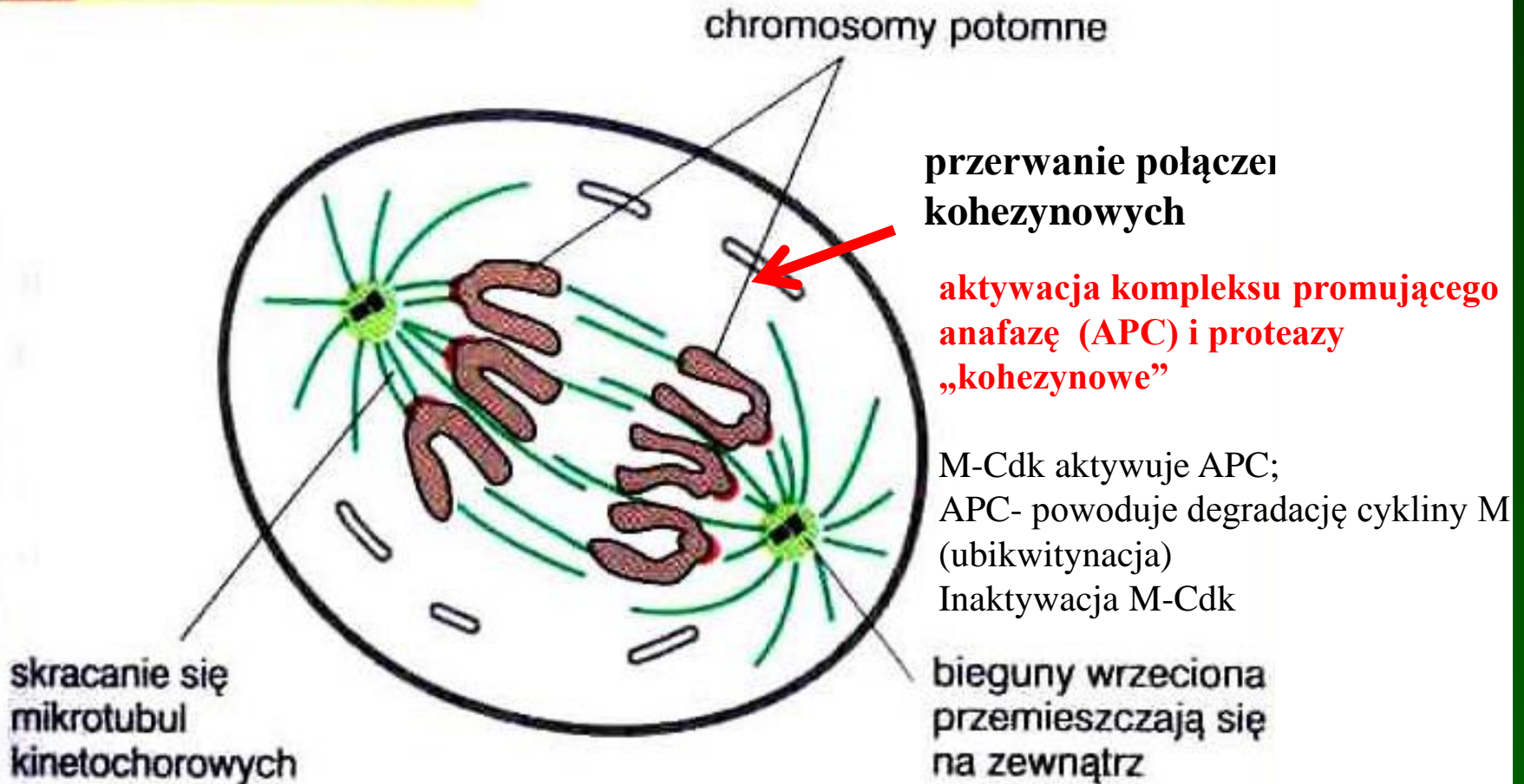
# Cykl komórkowy



Chromosomy przytrzymywane pod znacznym naprężeniem

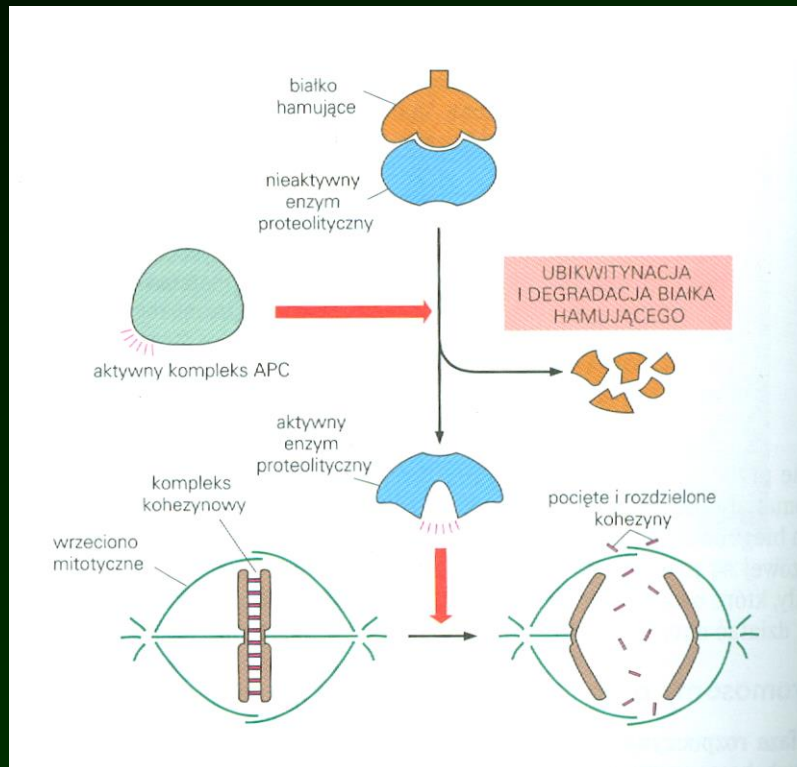
# Cykl komórkowy

## 4 ANAFAZA



# anafaza

## Aktywacja kompleksu promującego anafazę (APC) przez M-Cdk i rozkład kohezyn



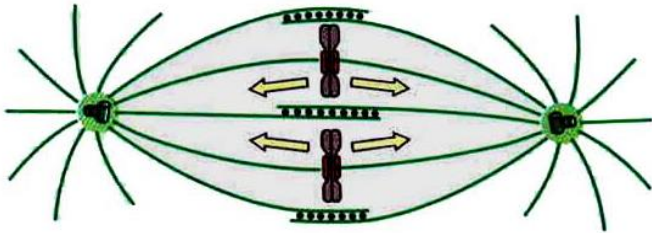
- M-Cdk aktywuje APC;
- APC- powoduje degradację cykliny M (ubikwitynacja)
- Inaktywacja M-Cdk

# Cykl komórkowy

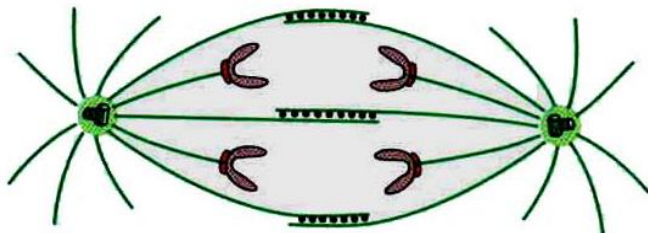
## anafaza

### ANAFAZA A

CHROMOSOMY SĄ ODCIĄGANE  
W KIERUNKU BIEGUNÓW

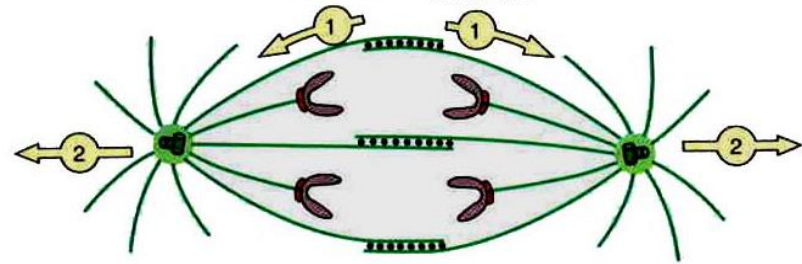


skracanie mikrotubul  
kinetochorowych;  
siły generowane przy kinetochorach  
przesuwają potomne chromosomy  
w kierunku odpowiednich  
biegunów wrzeciona

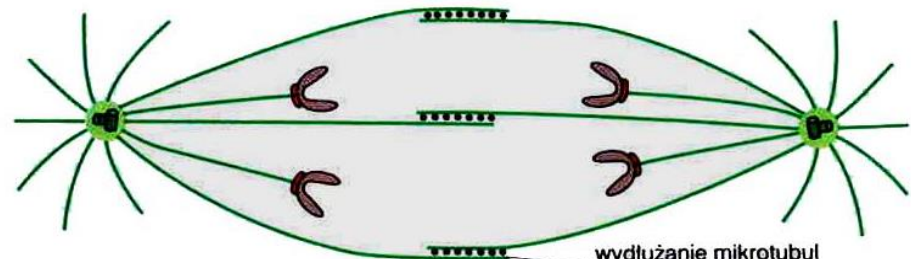


### ANAFAZA B

BIEGUNY ODDALAJĄ SIĘ  
OD SIEBIE



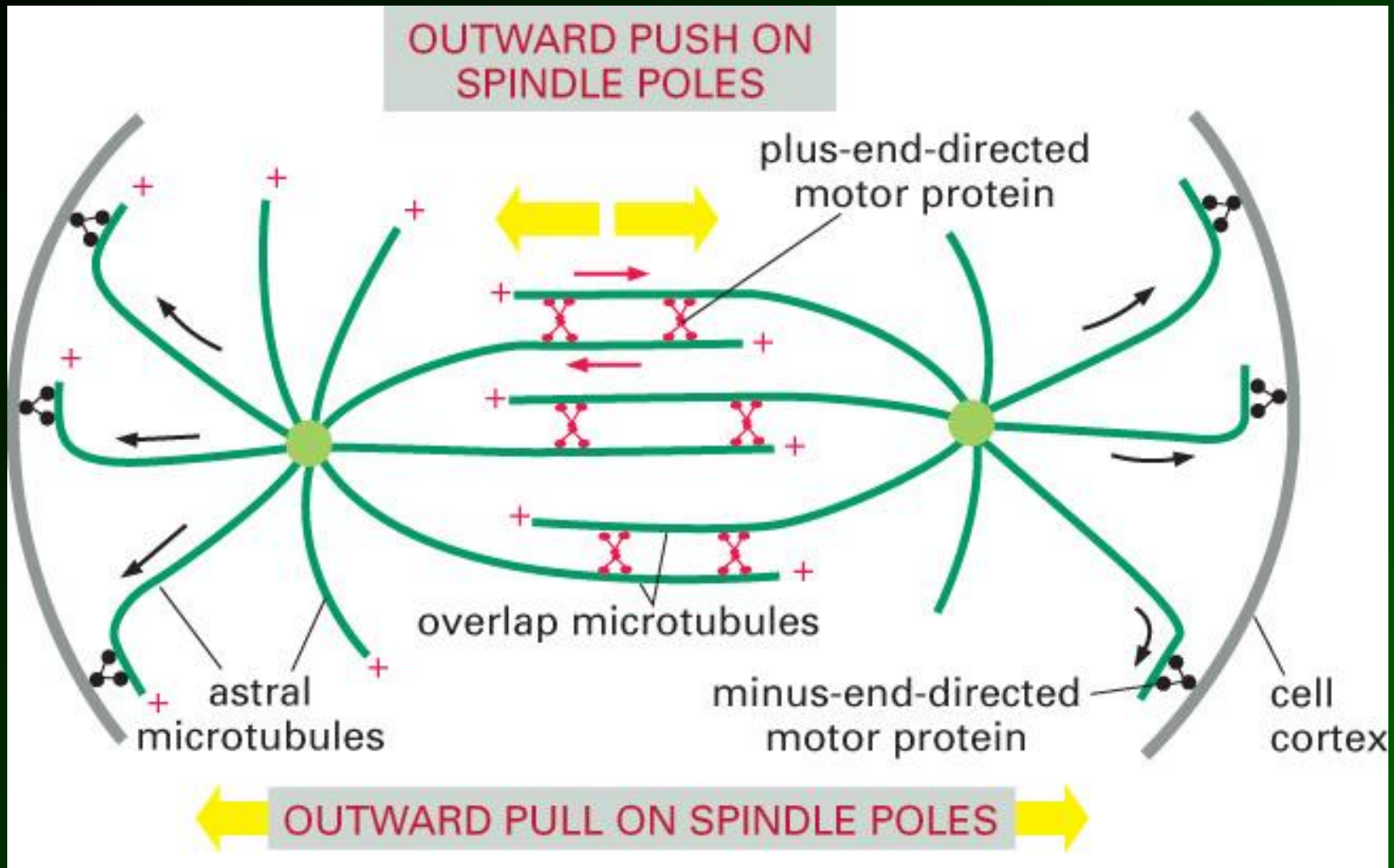
siła ślizgania (1) generowana  
między mikrotubulami biegunowymi  
odpycha je od siebie; siła ciągnąca (2)  
działając bezpośrednio na bieguny  
oddala je od siebie



wydlużanie mikrotubul  
na końcu plus  
mikrotubul biegunowych

1  $\mu\text{m}/\text{min}$

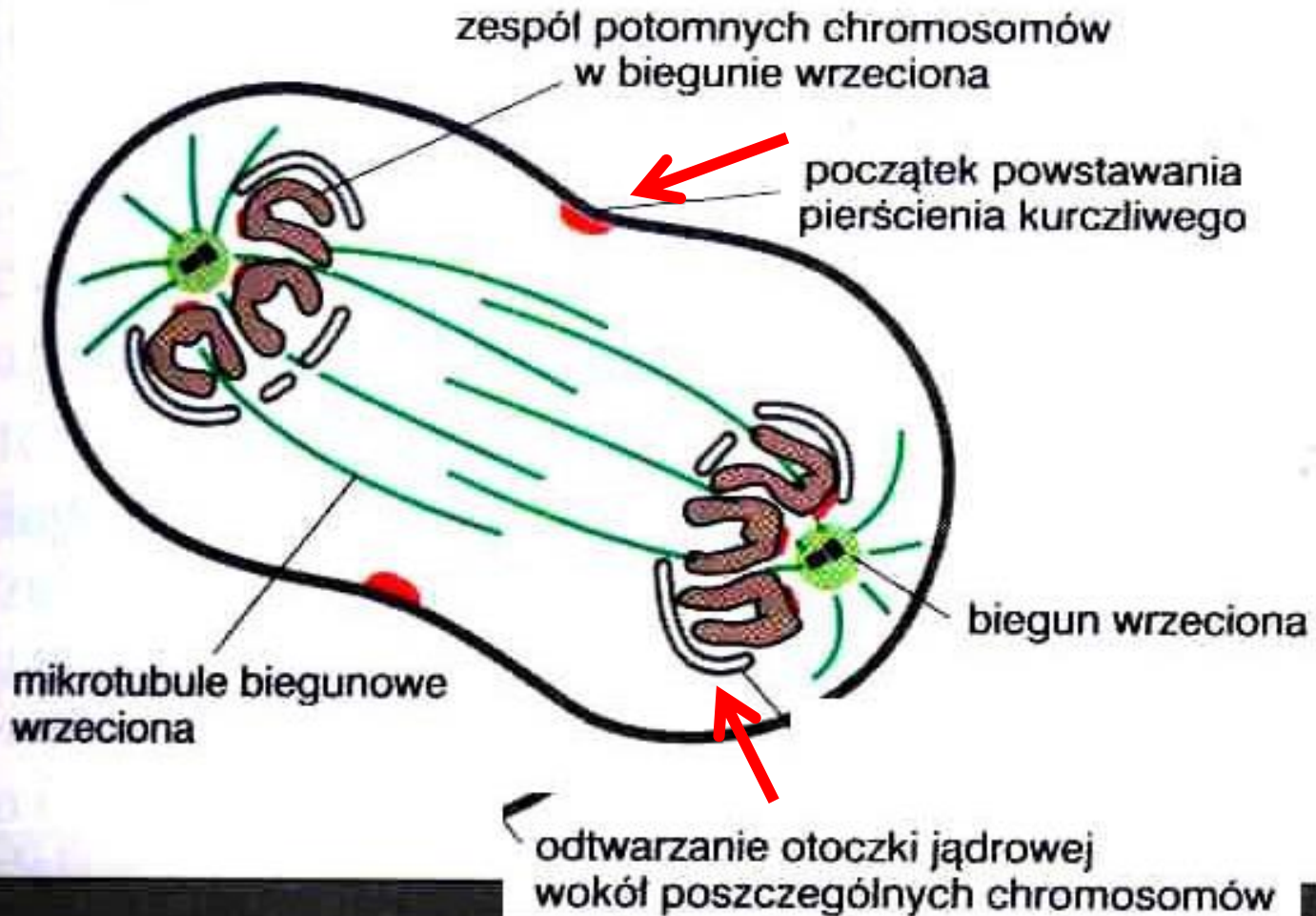
# Anafaza B



# Cykl komórkowy

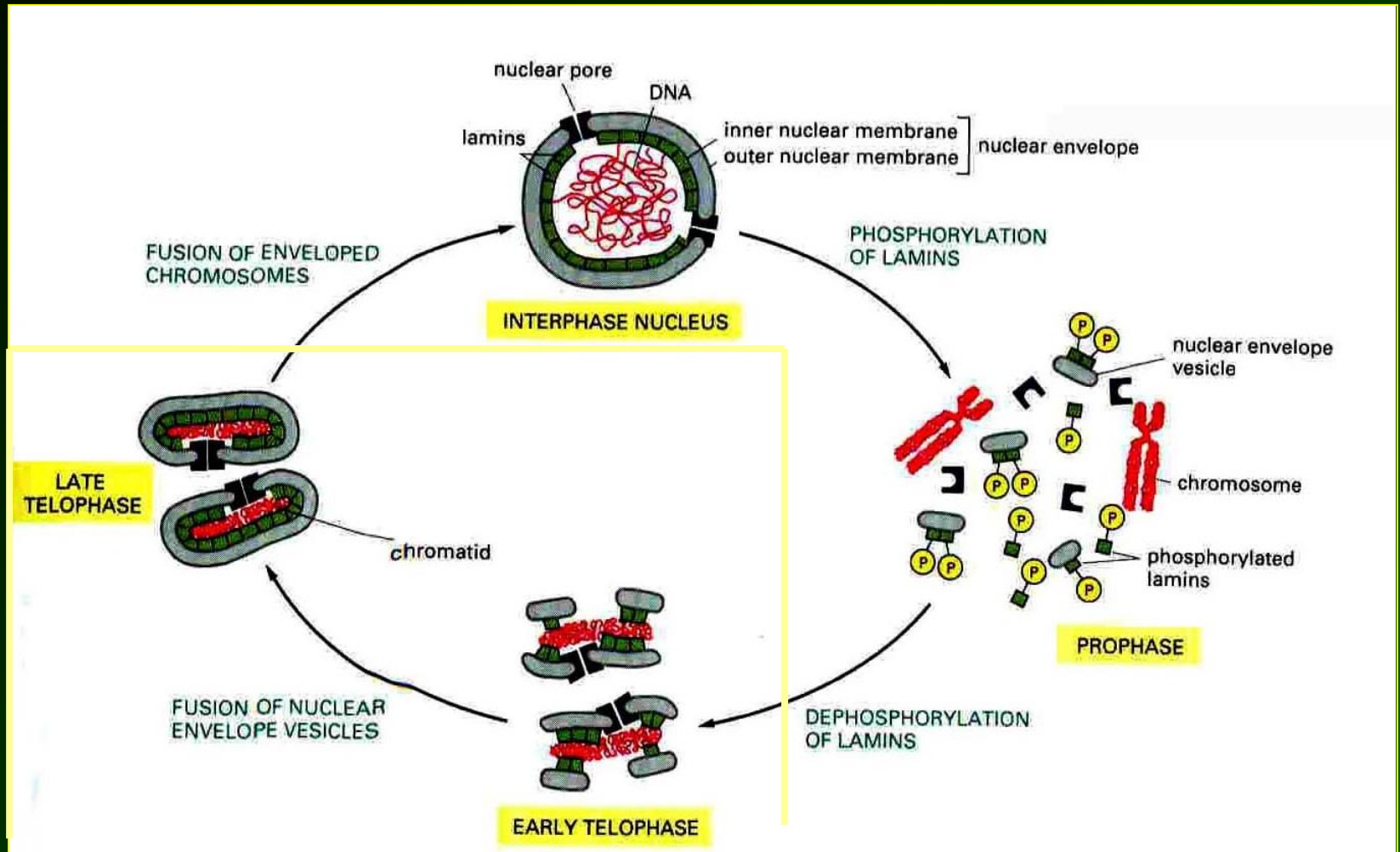
5

## TELOFAZA



# Cykl komórkowy

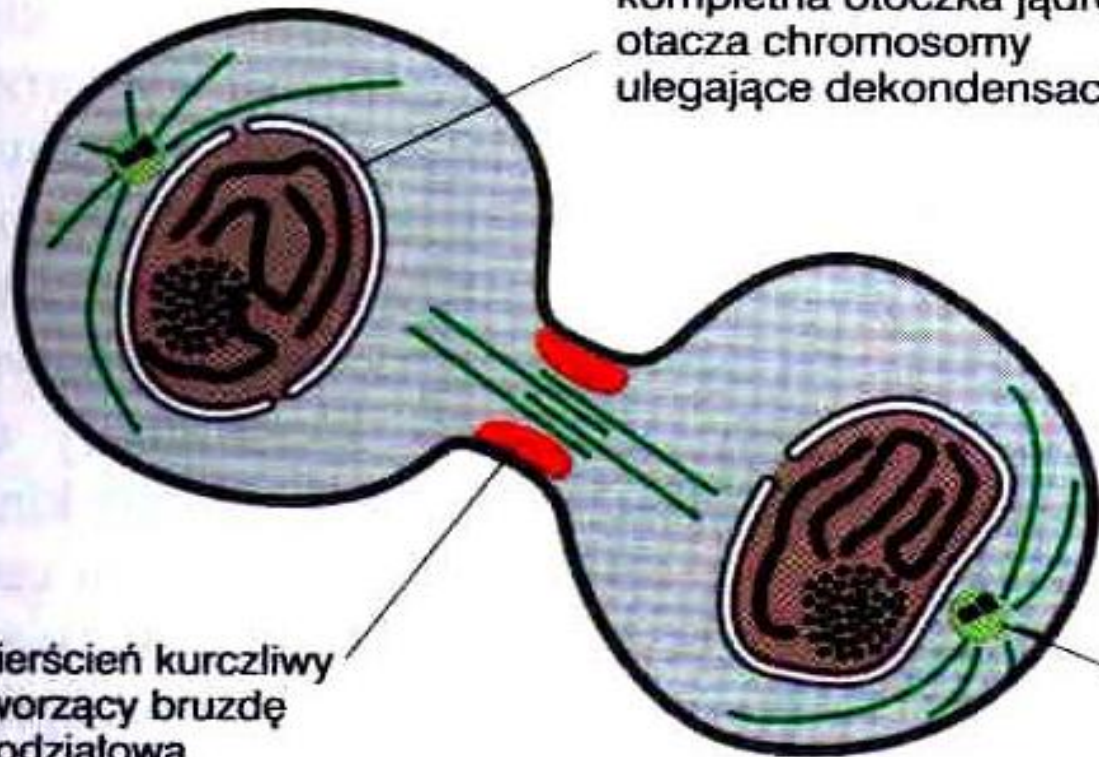
## telofaza



# Cykl komórkowy

6

## CYTOKINEZA



kompletna otoczka jądrowa  
otacza chromosomy  
ulegające dekondensacji

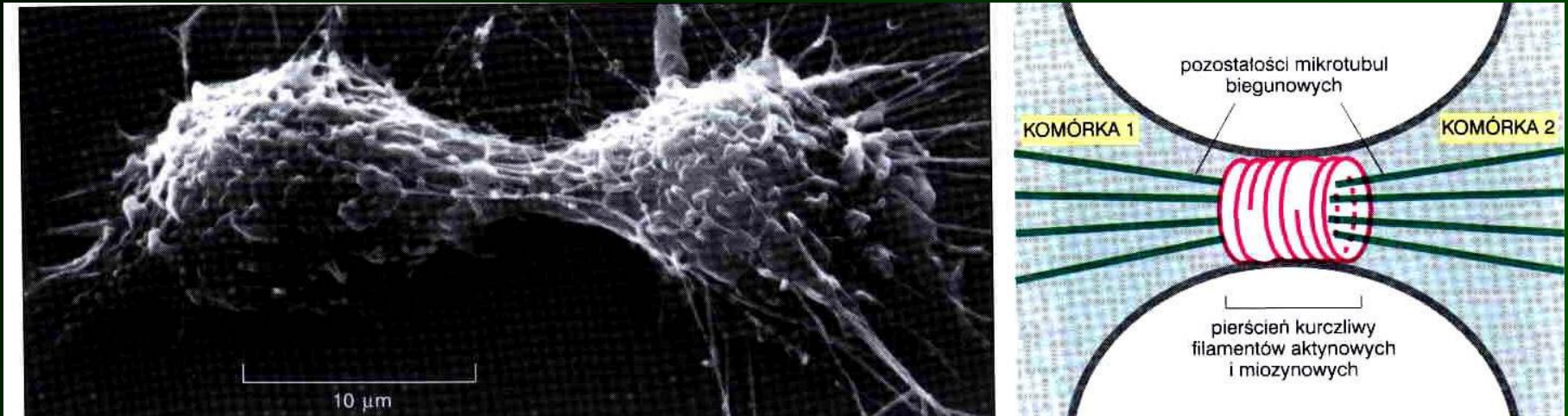
pierścień kurczliwy  
tworzący bruzdę  
podziałową

- odtworzenie interfazowych mikrotubuli  
odchodzących promieniście od centralnie  
położonego centrosomu



# Cykl komórkowy

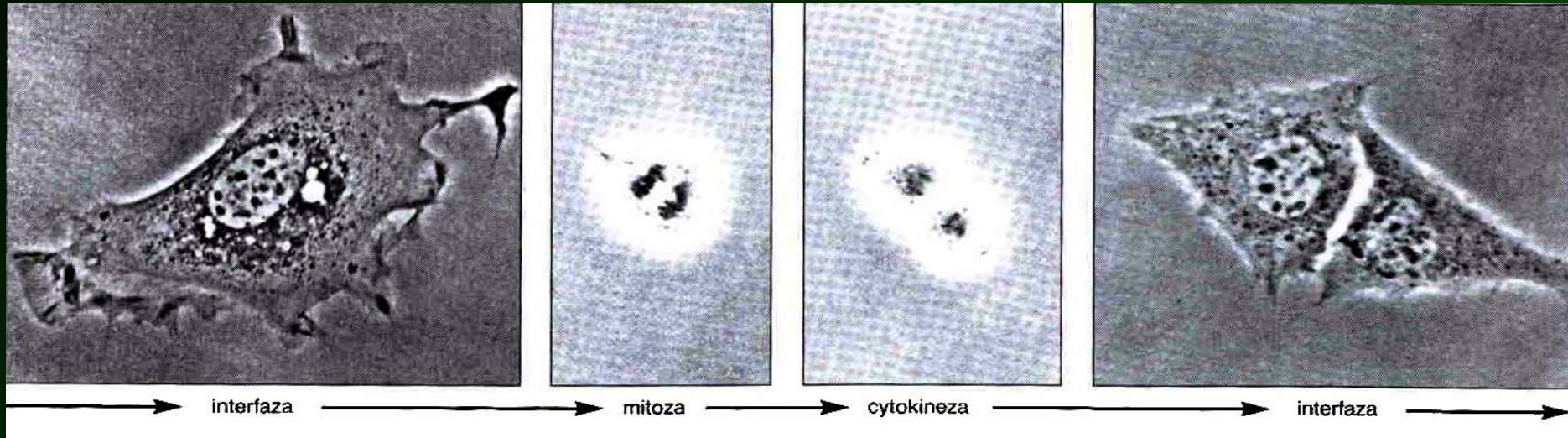
## Cytokineza w komórkach zwierząt



- położenie wrzeciona podziałowego- powstawanie bruzdy
- rozpad wrzeciona i powstawanie bruzdy ( Mt astralne)

# Cykl komórkowy

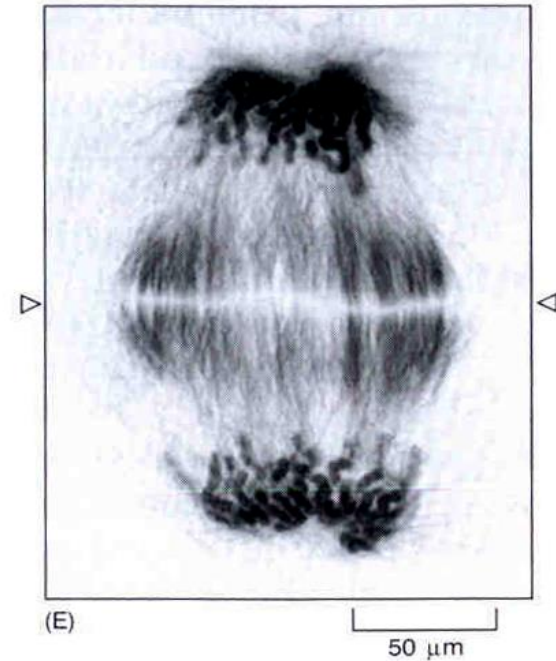
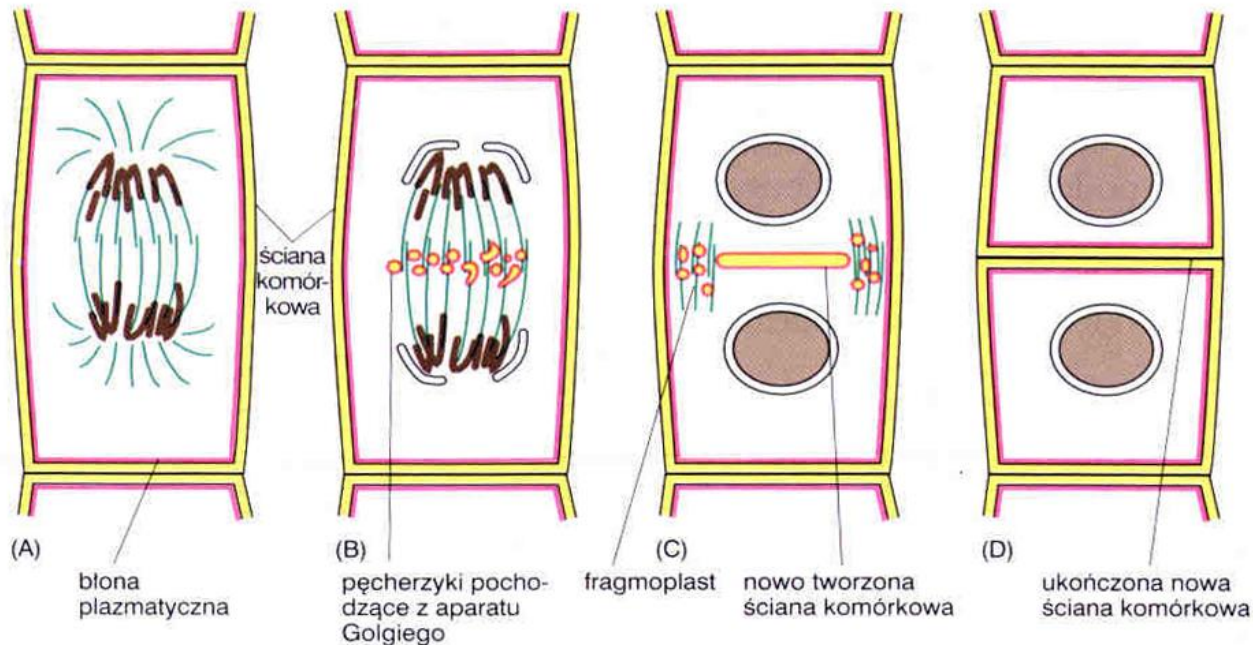
## podział fibroblasty



Film podział k.z.

# Cytokineza w komórce roślinnej

## Budowanie nowej ściany wewnątrz komórki



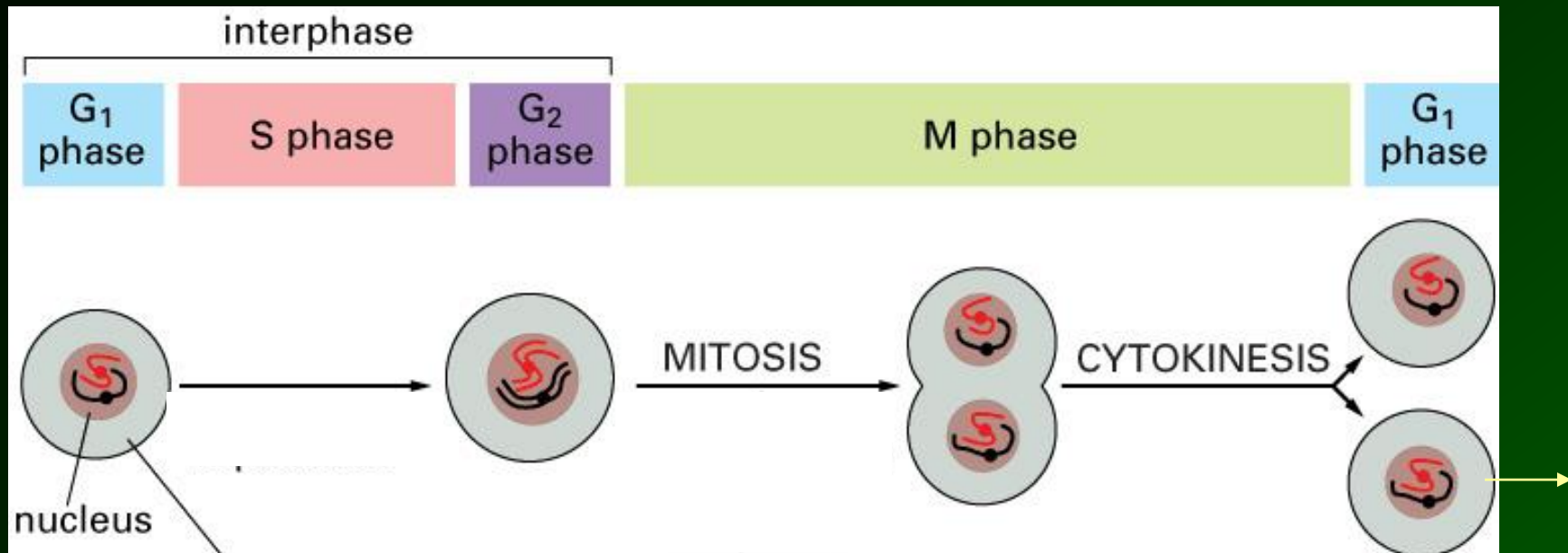
### -płytką podziałową

pierścień równikowy-część wrzeciona podziałowego + nowe Mt i FA

fragmoplast (pęcherzyki z celulozą i pektyną)

pierwotna ściana komórkowa

# Cykl komórkowy



G<sub>0</sub>

Zróżnicowanie  
komórki

szlak płciowy

mejoza

gamety

# Cykl komórkowy

mejoza

