

# Molekulárně biologické základy dědičnosti

The background features abstract, overlapping green geometric shapes in various shades, including light lime green, medium green, and dark forest green. These shapes are primarily located on the right side and bottom of the slide, creating a modern, scientific aesthetic.

# **MAKROMOLEKULY**

The background features abstract, overlapping green geometric shapes in various shades, including light lime green, medium green, and dark forest green. These shapes are primarily located on the right side of the page, with some extending towards the left. The overall aesthetic is clean and modern.

# Nejvýznamnější biomakromolekuly

- Nukleové kyseliny
- Proteiny
- Polyacharidy
- Lipidy

# Nukleové kyseliny

## Funkce

Uchovávání a přenos (během dělení buněk) genetické informace  
Určují „program“ buňky a nepřímo i celého organismu

## Stavba

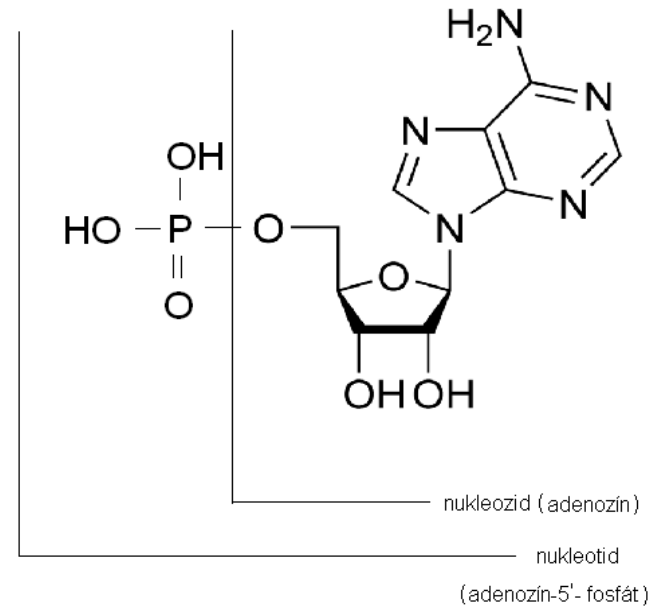
řetězec – polymer nukleotidů vzájemně spojených  
(tisíce až milion nukleotidů)

**DNA=deoxyribonukleová kyselina**

**RNA=ribonukleové kyselina**

**Nukleotid – jednotkou nukleových kyselin - 4 druhy**

**Cukr + báze + zbytek kys. fosforečné**



# Nukleotid

5 uhlíkatý cukr (pentóza)

2-deoxy-D-ribóza (DNA) /D-ribóza (RNA)

Fosfát (zbytek kyseliny fosforečné)  $\text{HPO}_3$

Báze – 4 druhy

# Nukleosid

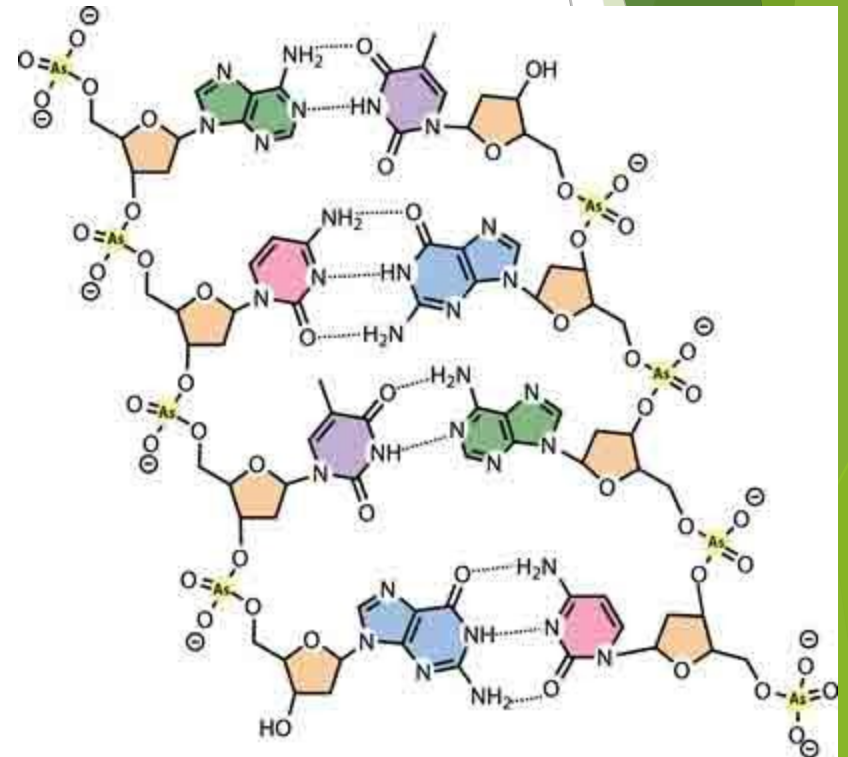
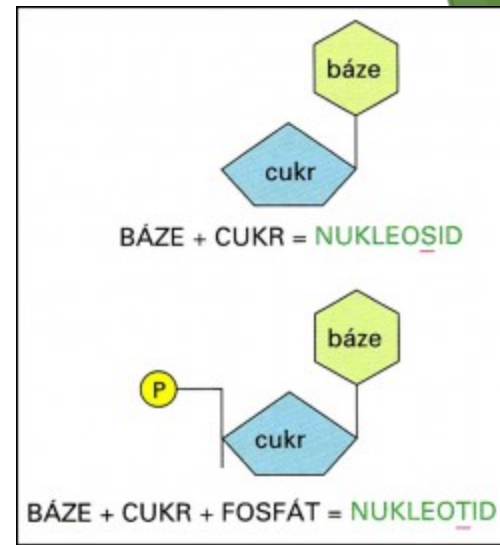
5 uhlíkatý cukr (pentóza)

2-deoxy-D-ribóza (DNA)/D-ribóza (RNA)

Báze – 4 druhy

Spojení horizontální: vodíkové můstky

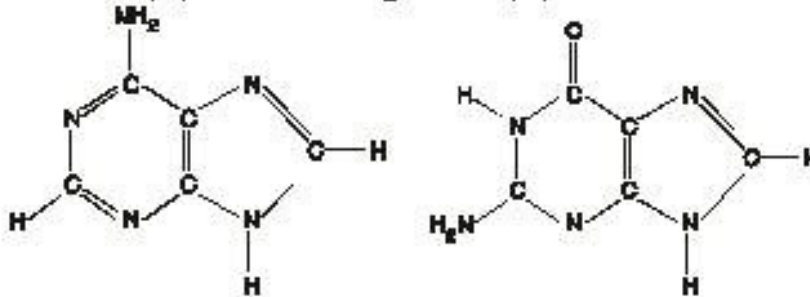
Spojení vertikální: fosfodiesterové vazby



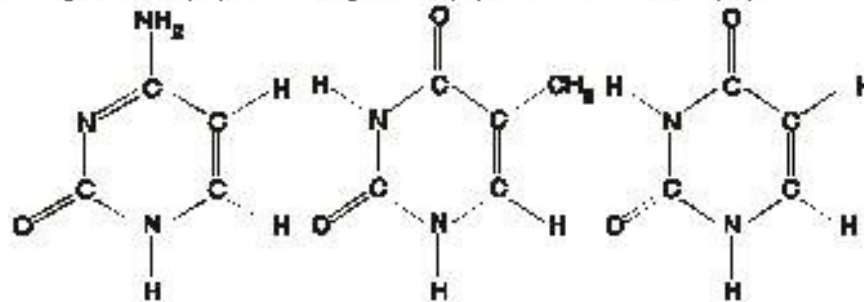
# Dusíkaté báze - párování

DNA	RNA
A-T	A-U
C-G	C-G

- purinové – adenin (A) a guanin (G)



- pyrimidinové – cytosin (C), thymin (T) a uracil (U)



# Obecná struktura NK

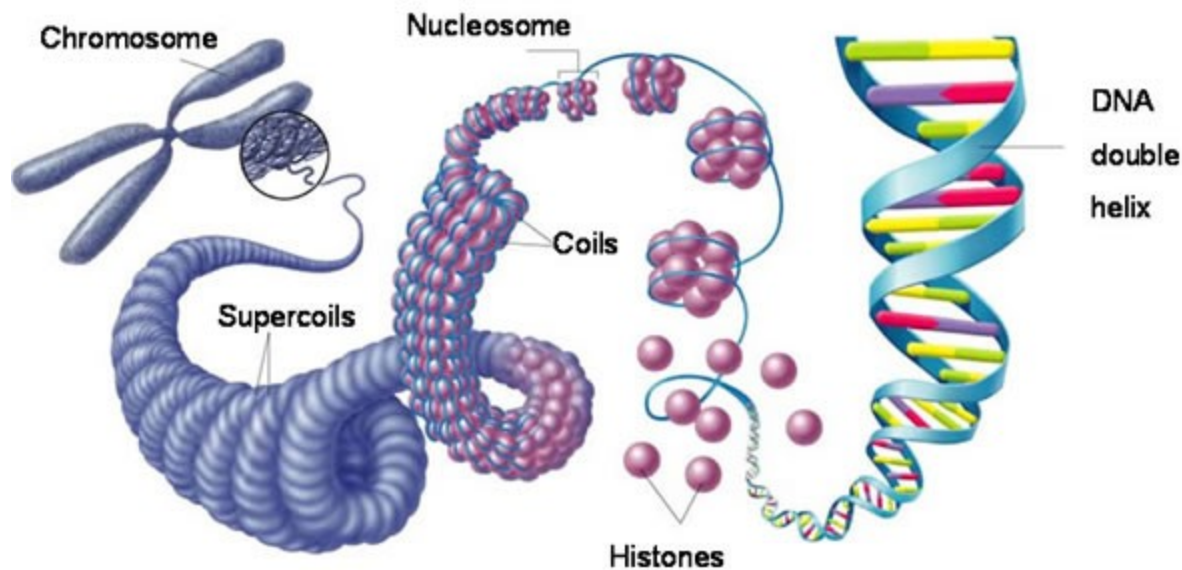
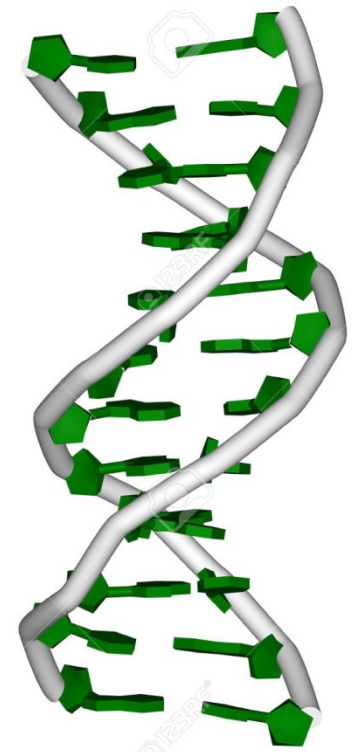
- Primární struktura –sekvence bazí nukleových kyselin ve vláknech
- Sekundární struktura –set interakcí mezi bázemi
- Terciární struktura –3D
- Kvartérní struktura –vyšší úrovně organizace
  - DNA v chromatinu
  - interakce RNA jednotek v ribosomu nebo spliceosomu.

# DNA - deoxyribonukleová kyselina

Skládá se ze 2 vláken - řetězců („double helix“)  
- komplementární a antiparalelní

Řetězce se otáčí proti sobě a vytvářejí dvoušroubovici  
Spojení prostřednictvím vodíkových můstků v místě bází

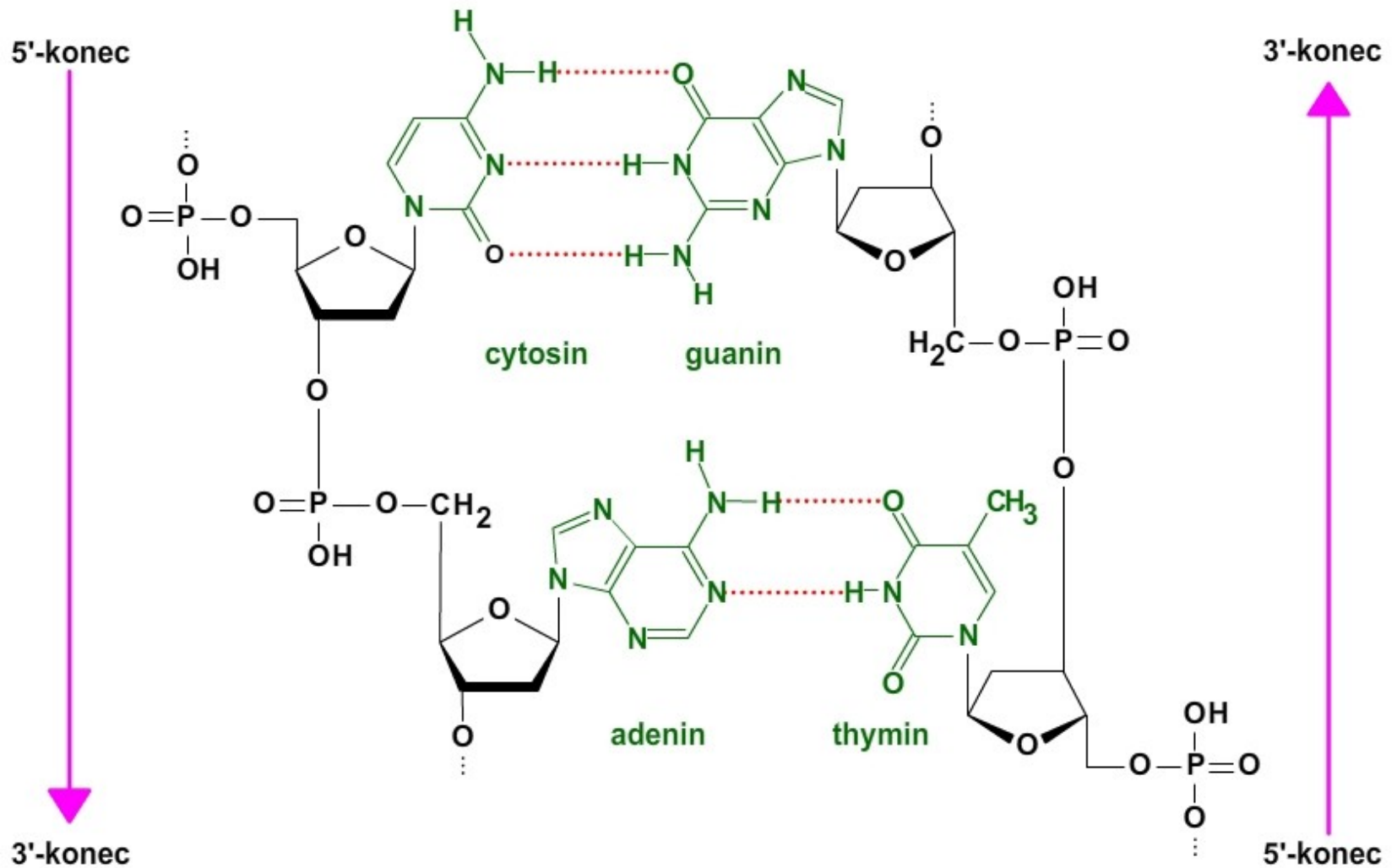
Stabilní (neopouští prostor buněčného jádra)





# Antiparalelní řetězce DNA a komplementarita bází

## Komplementarita bází - DNA





# Gen

## Strukturní

- nese informaci o primární struktuře proteinu:
  - stavebního proteinu
  - s biologickou nebo chemickou funkcí

## Regulační

- úsek DNA, plnění regulační funkci
- vazebná místa pro specifické proteiny, určující,
- zda gen bude či nebude prepisován

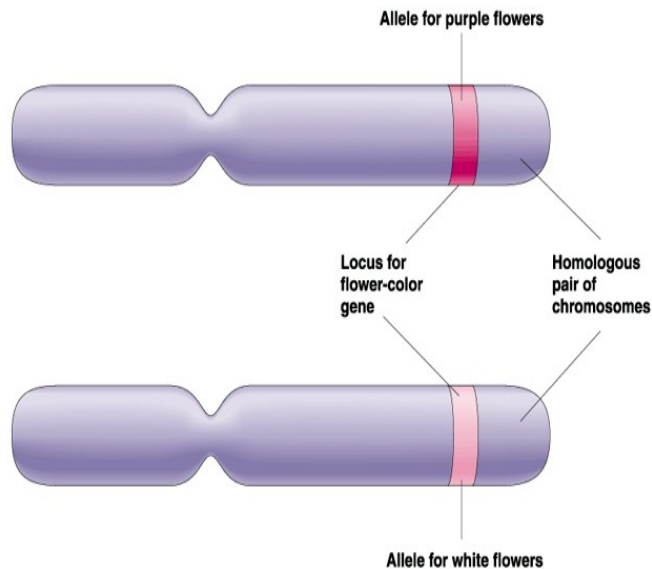
## Geny pro RNA

- nesou informaci pro stavbu tRNA a rRNA

```
CCCTGTGGACACACCCCTAGGTTGGCCA
ATCTACTCCCAGGAGCAGGGAGGGCAGGAG
CCAGGGCTGGGCATAAAAAGTCAGGGCAGAG
CCATCTATTGCTTACATTTGCTTCTGACAC
AACTGTGTTCACTAGCAACTCAAACAGACA
CCATGGTGCACTGACTCCTGAGGAGAAGT
CTGCCGTTACTGCCCTGTGGGGCAAGTGA
ACGTGGATGAAGTTGGTGGTGGGCCCTGG
GCAGCTTGGTATCAAGGTTACAAGCAGGT
TTAAGGAGACCAATAGAACTGGGCATGTG
GAGACAGAGAAGACTCTTGGGTTTCTGATA
GGCACTGACTCTCTGCTATTTGGTCTAT
TTCCACCCTTAGCTGCTGGTGTCTAC
CCTTGGACCCAGAGGTTCTTTGAGTCTTTT
GGGGATCTGTCCACTCCTGAGCTGTTATG
GGCAACCCTAAGGTGAAGGCTCATGGCAAG
AAAGTCTCGGTGCTTTAAGTATGGCCCTG
GCTCACTGGACAACCTCAAGGGCACCCTT
GCCCACTGAGTGAGCTGCACTGTGACAA
CTGCACGTGGATCTGAGAACTTCAGGGTG
AGTCTATGGGACCCCTGATGTTTTCTTCC
CCTTCTTTTCTATGGTTAAGTTCATGTGAT
AGGAAGGGGAGAAGTAAACAGGGTACAGTTT
AGAATGGGAACAGACGAATGATTCATCA
GTGTGGAAGTCTCAGGATCGTTTTAGTTTC
TTTTATTGCTGTTTCAACAAATGTTTTTC
TTTTGTTAATCTTGTCTTCTTTTTTTTT
CTTCTCCGCAATTTTACTATTATACTTAA
TGCCTTAACTTGTGTATAACAAAAGGAAA
TATCTCTGAGATACATTAAAGTAACTTAAA
AAAAACTTACACAGTCTGCCTAGTACATT
ACTATTGGGAATATATGTGTGCTTATTTGC
ATATTCATAATCTCCCTACTTTTATTTCTT
TTATTTTAAATGATACATAATCATATATAC
ATATTTATGGGTTAAAGTGAATGTTTTAA
TATGTGTACACATATTGACCAATCAGGGT
AATTTGCATTTGTAATTTAAAAAATGCT
TTCTTCTTTAATAATACTTTTTTGTTTATC
TTATTTCTAACTTTCCCTAACTCTTTTC
TTTCAGGGCAATAATGATACAAATGATCAT
GCCTCTTTGCAACCTTCTAAAGAAATACAG
TGATAATTTCTGGGTTAAGGCAATAGCAAT
ATTTCTGCATATAAATTTCTGCATATAA
ATTGTAACATGATGTAAGAGGTTTCATATTG
CTAATAGCAGCTACAATCCAGCTACCAATC
TGCTTTTATTTATGGTTGGGATAAGGCTG
GATTATTCTGAGTCCAAGCTAGGCCCTTTT
GCTAATCATGTTTACACCTCTTATCTTCT
CCCACAGCTCCCTGGGCAAGTGTGGTCTG
TGTGCTGGCCCATCACTTTGGCAAAGAATT
CACCCACCAGTGCAGGCTGCCTATCAGAA
AGTGGTGGCTGGTGTGGCTAATGCCCTGGC
CCACAAGTATCACTAAGCTCGCTTCTTGC
TGCCAAATTTCTATTAAGGTTCTTTGTT
CCCTAAGTCCAACTACTAACTGGGGATA
TTATGAAGGGCCTTGAAGCATCTGGATCTG
CCTAATAAAAAACATTTAATTTTCAATGCAA
TGATGATTTAAATTTTCTGAATATTTT
ACTAAAAAGGGAAATGTGGGAGGTCAGTGCA
TTTAAAAACATAAAGAAATGATGAGCTGTT
AAACCTTGGGAAATACACTATATCTTAAA
CTCCATGAAGAAGGTGAGGCTGCAACCCAG
CTAATGCACATGGCAACAGCCCTGATGC
CTATGCCCTTATTCATCCCTCAGAAAAGGAT
TCTGTAGAGGCTTGATTTGCAGGTTAAAG
TTTTGCTATGCTGATTTTACATTAATCTTAT
TGTTTTAGCTGTCTCATGAATGCTTTTTT
```

**Alela = je varianta genu na molekulární úrovni**

- **alela zajišťuje konkrétní fenotypový projev genu**
- **každá alela má nepatrný rozdíl v sekvenci nukleotidů**
- **u jedince mohou na homologních jaderných chromozomech být přítomny pouze dvě alely**
- **alely se buď vyskytují v populaci ve dvou formách, tzn. že existují dvě odlišné alely daného genu nebo ve více formách – mnohotná alelie**



# RNA - ribonukleová kyselina

## Funkce

je prostředníkem realizace (exprese) informací uložených v DNA  
=proteosyntéza=syntéza bílkovin

## Stavba

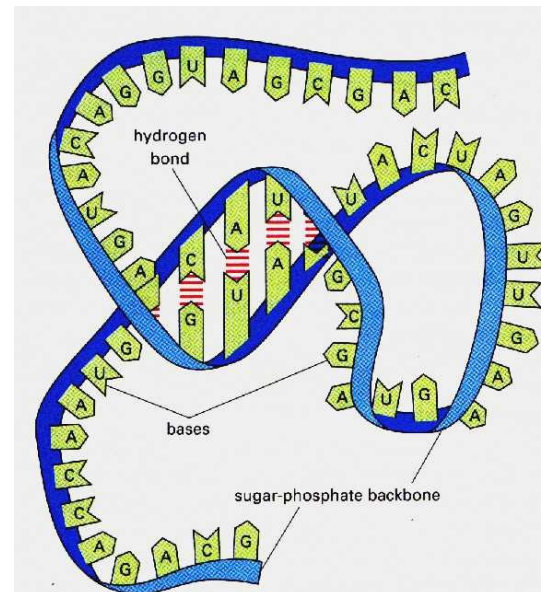
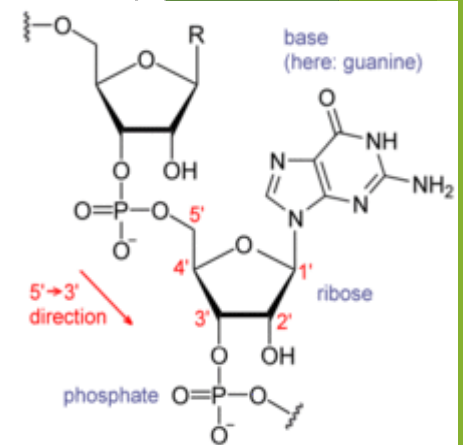
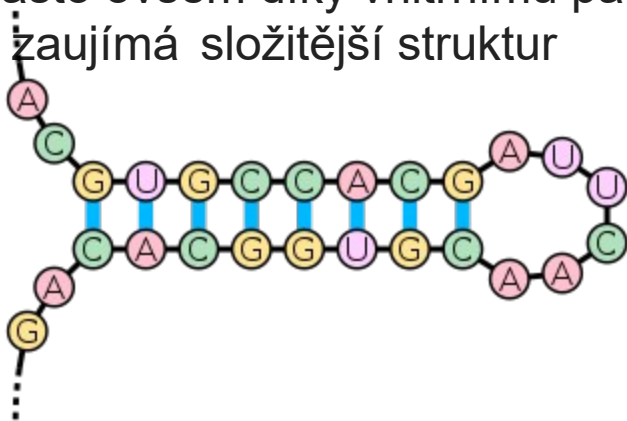
řetězec – polymer nukleotidů vzájemně spojených

5 uhlíkatý cukr (pentóza): **D-ribóza**

Fosfát (zbytek kyseliny fosforečné)  $\text{HPO}_3$

Báze – 4 druhy – A, U, C, G

- na rozdíl od DNA obvykle jednovláknová
- často ovšem díky vnitřnímu párování zaujímá složitější strukturu

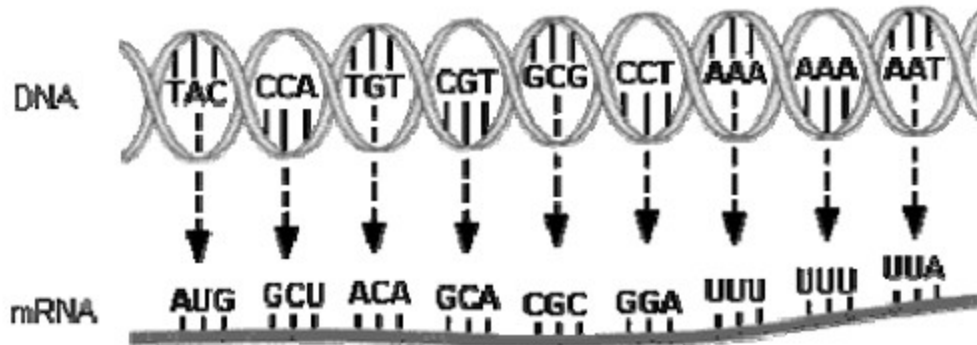




# Druhy RNA

## m-RNA

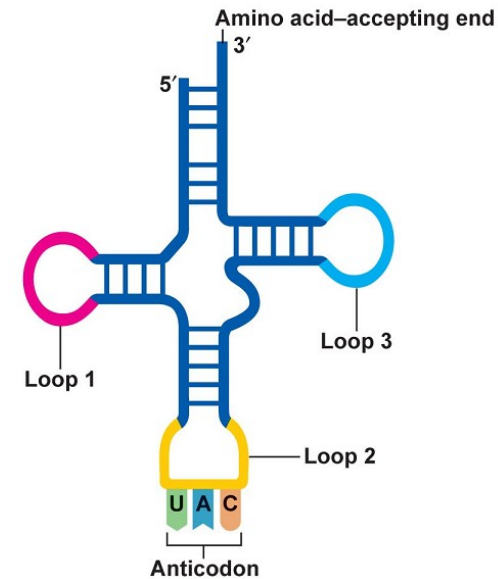
- ▶ Messenger RNA, informační RNA, mediátorová RNA;
- ▶ přenáší dědičnou informaci, která je uložena v genu a kóduje přesné pořadí AMK v bílkovině;
- ▶ vzniká přepisem (transkripcí) z DNA a následným sestřihem (splicing);
- ▶ z jádra je transportována do cytoplazmy, kde se ve spojení s ribozomy účastní syntézy bílkovin (translace)



# Druhy RNA

## t-RNA

- Transferová RNA;
- přináší aminokyseliny na správné místo vznikajícího polypeptidu – na proteosyntetický aparát buňky
- za klasické schéma molekuly tRNA je považován „trojlístek jetele“;
- na konci CCA 3' je navázána esterovou vazbou přenášená AMK.
- vzniká transkripcí polymerasou III genů roztroušených na různých místech genomu;
- primární transkript je upraven sestřihem, kdy jsou odstraněny introny;

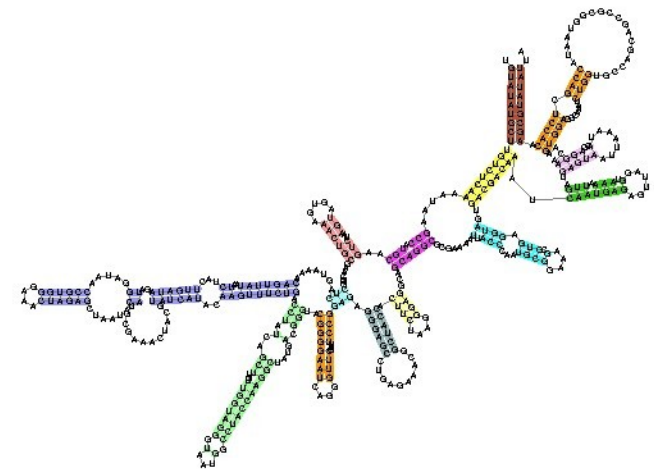
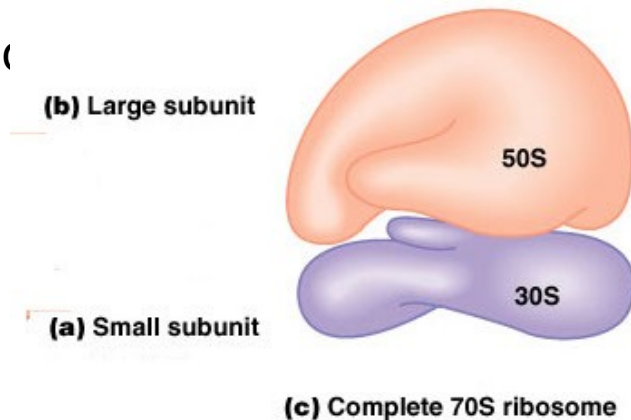


# Druhy RNA

## r-RNA

- Ribozomová RNA;
- spolu se specifickými bílkovinami se podílí na tvorbě ribozomu
- pravděpodobně zodpovědná za funkci rRNA v proteosyntéze
- Jednovláknitá i dvoušroubovice
- vzniká v jadérku podle zvláštního

přec







## DNA vs. RNA

### DNNA

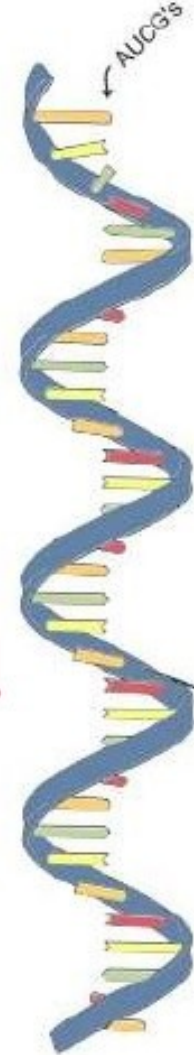
- deoxyribose sugar
- nitrogen bases
  - ◆ G, C, A, T
  - ◆ T : A
  - ◆ C : G
- double stranded



DNA

### RNNA

- ribose sugar
- nitrogen bases
  - ◆ G, C, A, U
  - ◆ U : A
  - ◆ C : G
- single stranded



RNA

# **Bílkoviny (proteiny)**

- **nejdůležitější biomakromolekuly**
- **součástí svalů, kůže, vlasů, krve.... 19% hmotnosti člověk**
- **... univerzální, mohou mít funkci:**

**Stavební** – keratin (vlasy, nehty), kolagen (kosti, šlachy, chrupavky, kůže)

**Řídící a regulační** – hormony (inzulín, tyroxin, glukagon)

**Zásobní** – dlouhodobý nedostatek sacharidů a tuků vede ke štěpení svalů, feritin (zásobní železo)

**Biochemická** – enzymy (štěpení škrobu amyláza, pepsin štěpení bílkovin)

**Transportní** – hemoglobin, albumin

**Pohybová** – myosin, aktin (svaly), tubulin (spermie)

**Kontrolní**

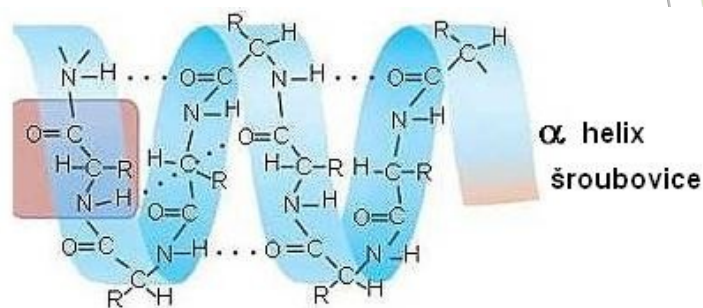
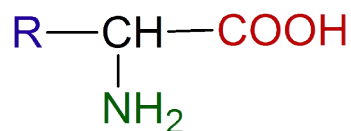
**Ochranná** – imunoglobuliny, fibrin

**....odpovědné za realizaci projevů života!**

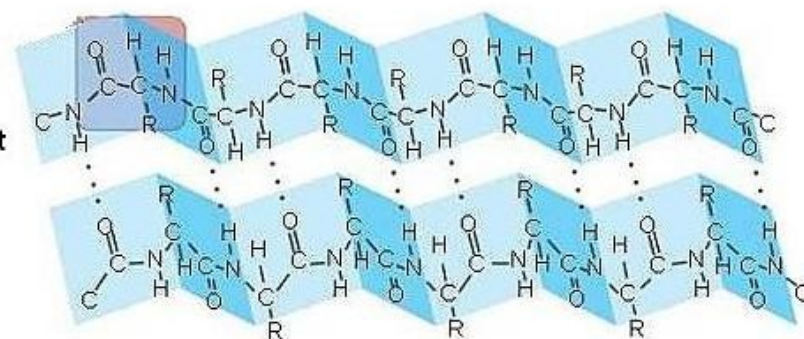
# Bílkoviny (proteiny)

skládají se z AK (aminokyselin) spojených peptidickou vazbou

Makromolekuly bílkovin zaujímají v prostoru různá složitá uspořádání



$\beta$  struktura  
skládání list





# Přehled základních aminokyselin

neutrální s nepolárním postranním řetězcem

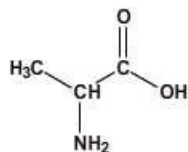
neutrální s polárním postranním řetězcem

kyselé

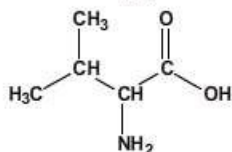
zásadité

esenciální

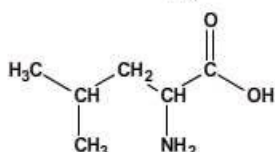
alanin (Ala)



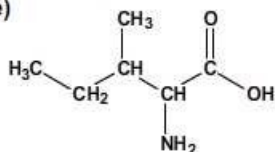
valin (Val)



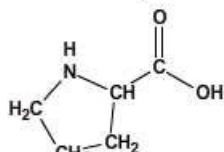
leucin (Leu)



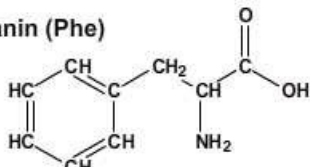
isoleucin (Ile)



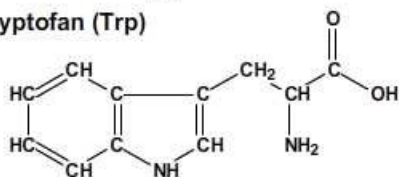
prolin (Pro)



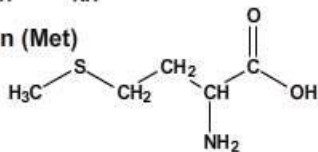
phenylalanin (Phe)



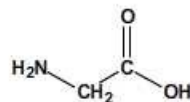
tryptofan (Trp)



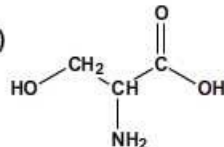
methionin (Met)



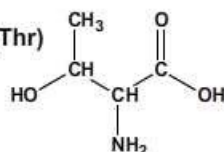
glycin (Gly)



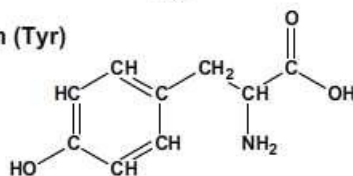
serin (Ser)



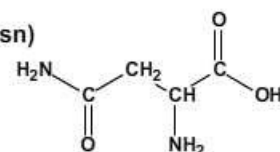
threonin (Thr)



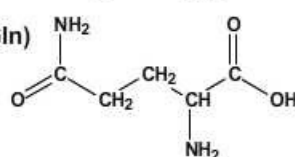
tyrosin (Tyr)



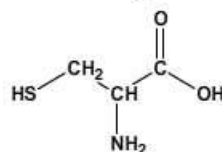
asparagin (Asn)



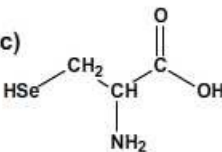
glutamin (Gln)



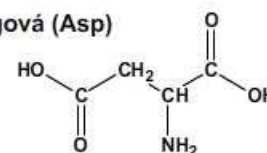
cystein (Cys)



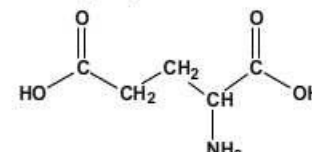
selenocystein (Sec)



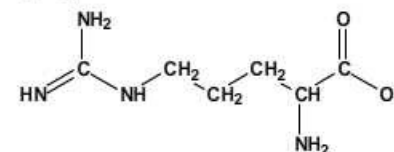
kyselina asparagová (Asp)



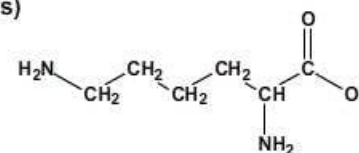
kyselina glutamová (Glu)



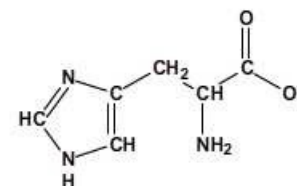
arginin (Arg)



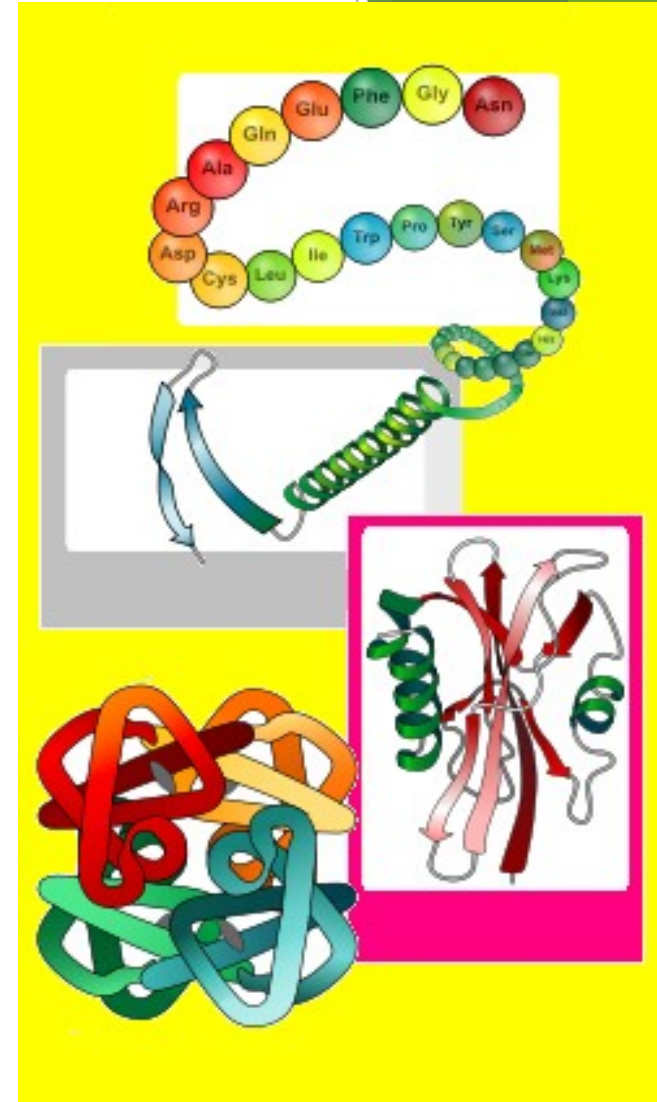
lysin (Lys)



histidin (His)



- Primární
- (pořadí AMK)
- Sekundární
- (geometrické uspořádání řetězce)
- Terciární
- (prostor. Uspořádání sekundární struktury, obhacené vodík. Můstky....)
- Kvartérní
- (podjednotkové složení)



*Specifický vztah mezi strukturou a funkcí:*

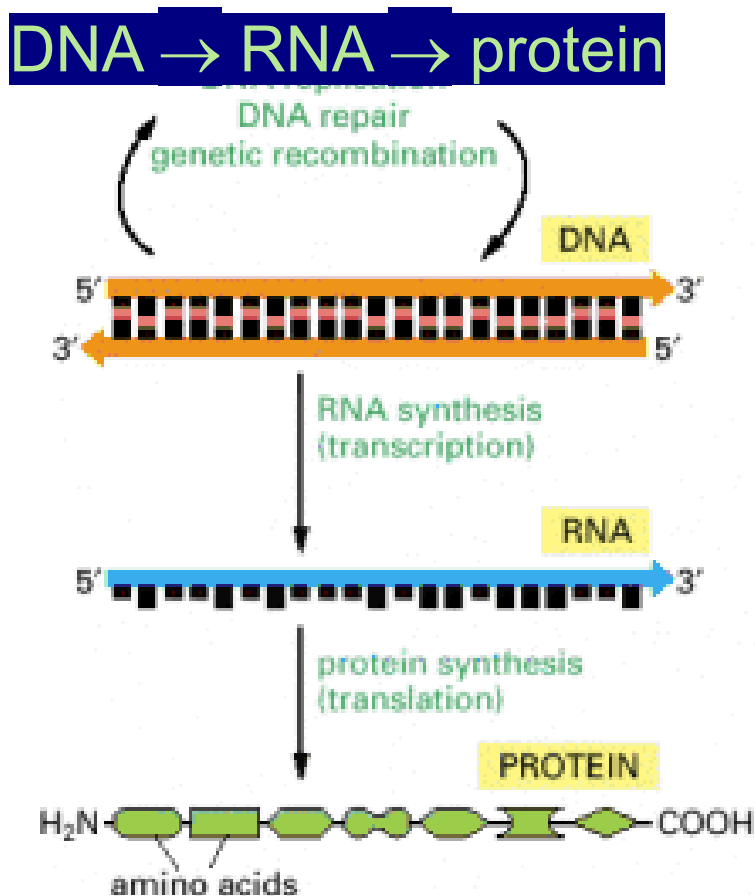
posloupnost aminokyselin  $\Rightarrow$  struktura  $\Rightarrow$  funkce

*Kritická podmínka pro zachování životních pochodů buňky:*

**mít možnost podle potřeby vytvořit protein  
pro zabezpečení dané funkce**

# Centrální dogma molekulární biologie

Přenos genetické informace v živých organismech  
vždy





# Centrální dogma molekulární biologie

Přenos genetické informace v živých organismech  
vždy

**DNA → RNA → protein**

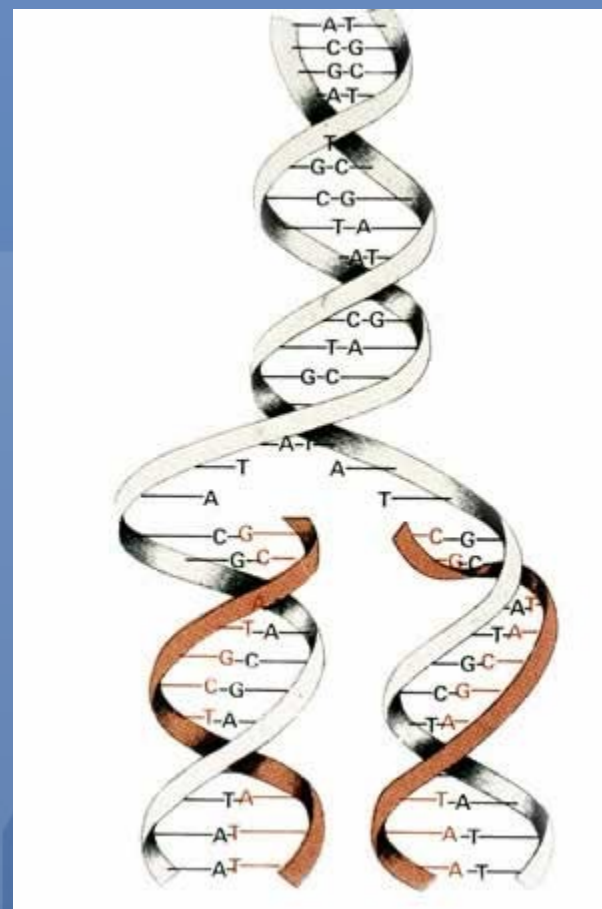
**Vyjádřením informace obsažené v genech (resp. v DNA)  
do bílkovinné struktury se nazývá: **EXPRESE GENU.****

- 1. Replikace**
- 2. Transkripce**
- 3. Translace**

**EXPRESSE GENU**

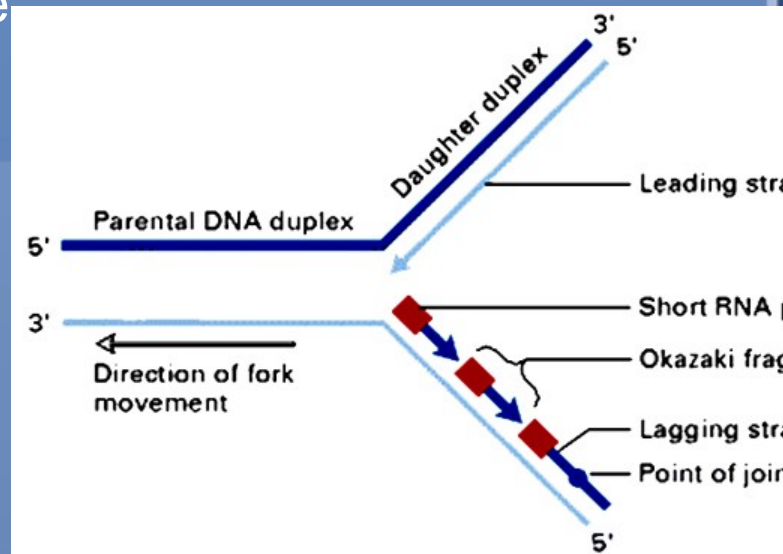
# Replikace

- = zdvojení DNA
- je proces tvorby kopií molekuly DNA, čímž se genetická informace přenáší z jedné molekuly DNA (templát, matrice) do jiné molekuly stejného typu (tzv. replika)
- celý proces je **semikonzervativní**, tzn. každá nově vzniklá molekula DNA má jeden řetězec z původní molekuly a jeden nový, syntetizovaný



# Replikace

- Celý proces probíhá **semidiskontinuálně** – vedoucí řetězec se syntetizuje kontinuálně, váznoucí řetězec se syntetizuje diskontinuálně – Okazakiho fragmenty
- dochází k řazení nukleotidů jeden za druhým, a to podle vzorové původní molekuly DNA
- výsledkem tohoto řazení nukleotidů je nakonec kompletní DNA daného organismu, v podstatě identická kopie původní DNA



# Replikace

Enzymy:

- ▶ DNA polymeráza, DNA primáza – katalyzuje polymeraci
- ▶ DNA helikáza, DNA topoizomeráza, DNA ligáza
- ▶ Iniciátorové a stabilizační enzymy

# Replikace

- je v základních rysech stejná u všech organismů a obecně je možné její průběh rozdělit do tří základních kroků:
- Iniclace – rozpletení dvoušroubovice DNA, vznik replikační vidlice a navázání enzymatického komplexu
- Elongace – přidávání nukleotidů a postup replikační vidlice
- Terminace – ukončení replikace

# Replikace

## Iniciace

- začíná připojením primerů na specifických místech – počátcích replikace
- Eukaryota – i několik tisíc replikačních počátků
- Bakterie – jeden počátek
- Enzymatické rozvolnění vlákna mateřské DNA

# Replikace

## Elongace

- DNA polymerázy provádí syntézu nových řetězců

## Terminace

- Ukončení replikačního procesu

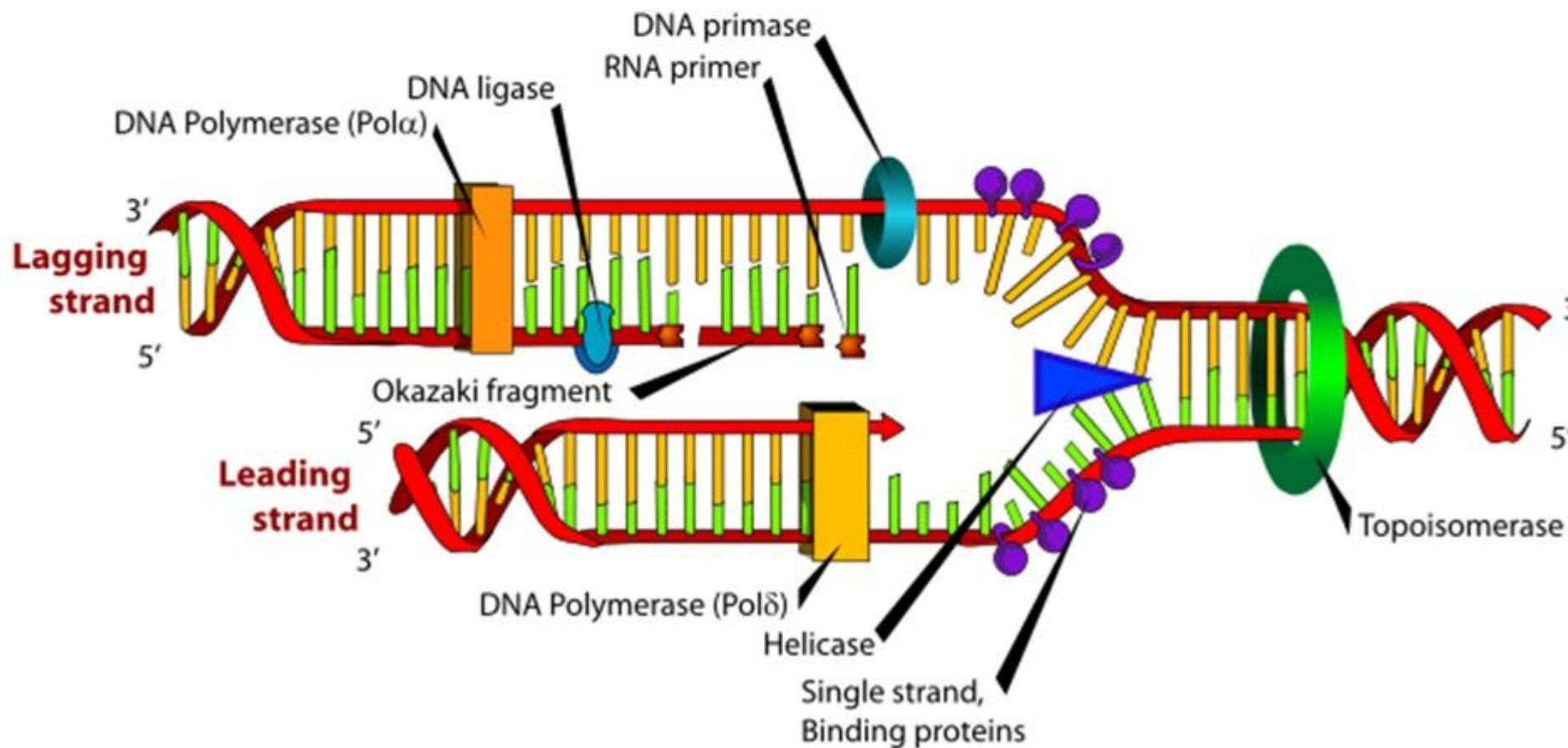


# Replikace

- Bakterie – replikace má jeden nebo několik set replikačních počátků (nukleoid – jedna kruhová DNA), replikace probíhá v kruhu
- Eukaryota – více replikačních počátků, složitější enzymatické děje
- Viry – popsany proces využívají jen některé viry, své modifikace

# průběh replikace DNA

- DNA polymerasa, DNA ligasa, DNA primasa
- topoisomerasy, helikasa
- vedoucí a opožďující se vlákno (Okazakiho fragmenty)

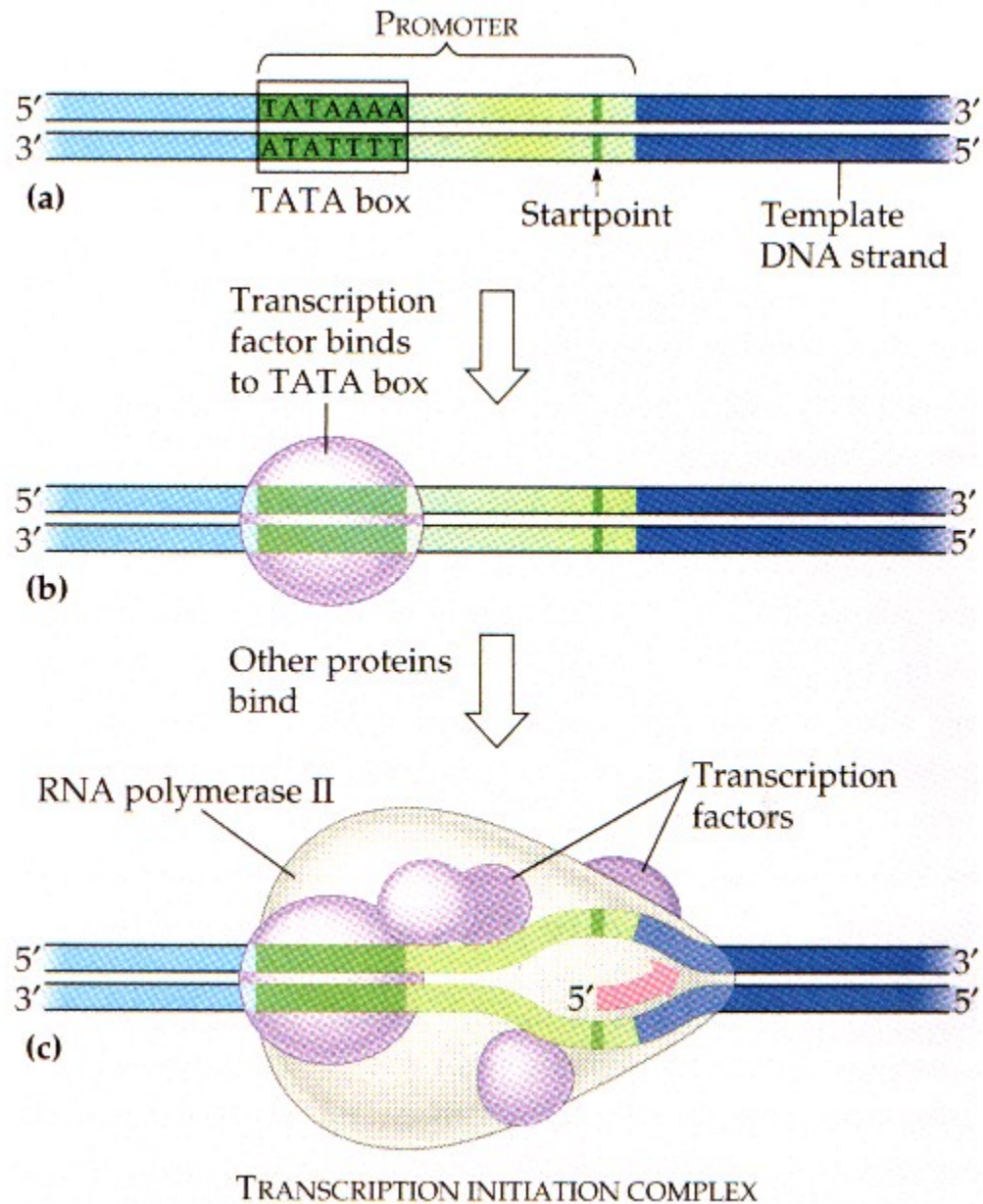


# Transkripce

- = „přepis“ z DNA do mRNA podle principu komplementarity bazí
- je proces, při němž je podle genetické informace zapsané v řetězci DNA vyráběn řetězec RNA
- probíhá u všech známých organizmů včetně virů. U bakterií se odehrává volně v cytoplazmě, u některých vyšších organizmů (tzv. eukaryota probíhá v buněčném jádře)
- Enzymatický proces: enzym **RNA polymeráza**, schopný podle vzoru v podobě DNA vyrábět kopii v podobě RNA

# Transkripce

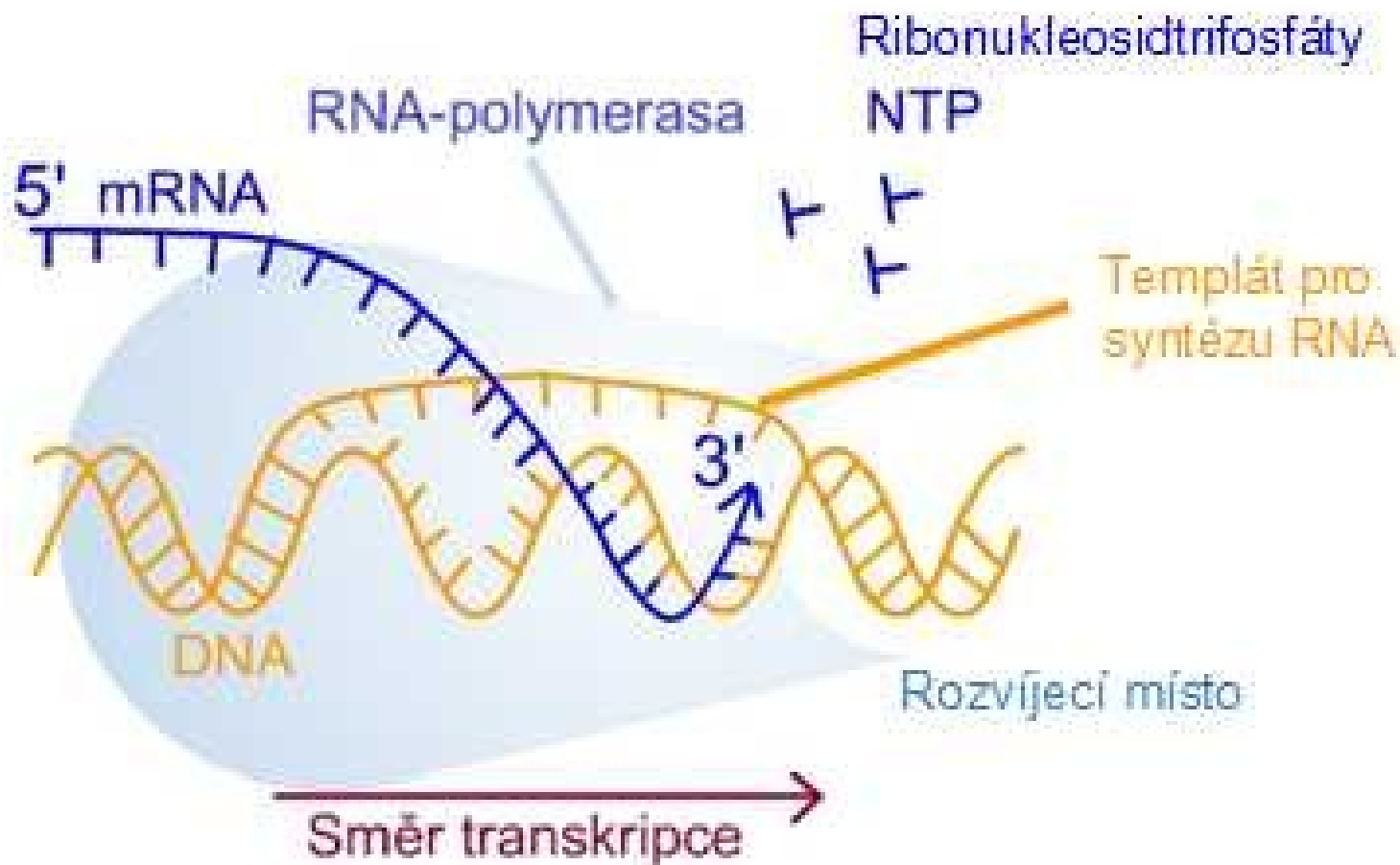
- Nejdříve se rozplete dvoušroubovice DNA, která se skládá z jednotlivých genů
- RNA polymeráza vyhledá promotor – specifický sekvence nukleotidů (např. TATA box), naváže se na začátek genu a začne na nukleotidy DNA připojovat komplementární nukleotidy RNA
- Když se do mRNA přepíše celý gen, jednořetězcová lineární molekula mRNA se odpojí a v typickém případě putuje k ribozomu, kde z ní v procesu translace vzniká bílkovina.



# Transkripce

Fáze:

- ▶ Iniclace – rozvine se dvoušroubovice DNA, začne se vytvářet RNA za účasti RNA polymerázy
- ▶ Elongace – prodlužování řetězce
- ▶ Terminace – ukončení transkripce a uvolnění RNA molekuly; následuje několik posttranskripčních úprav, které ovšem nejsou součástí procesu transkripce



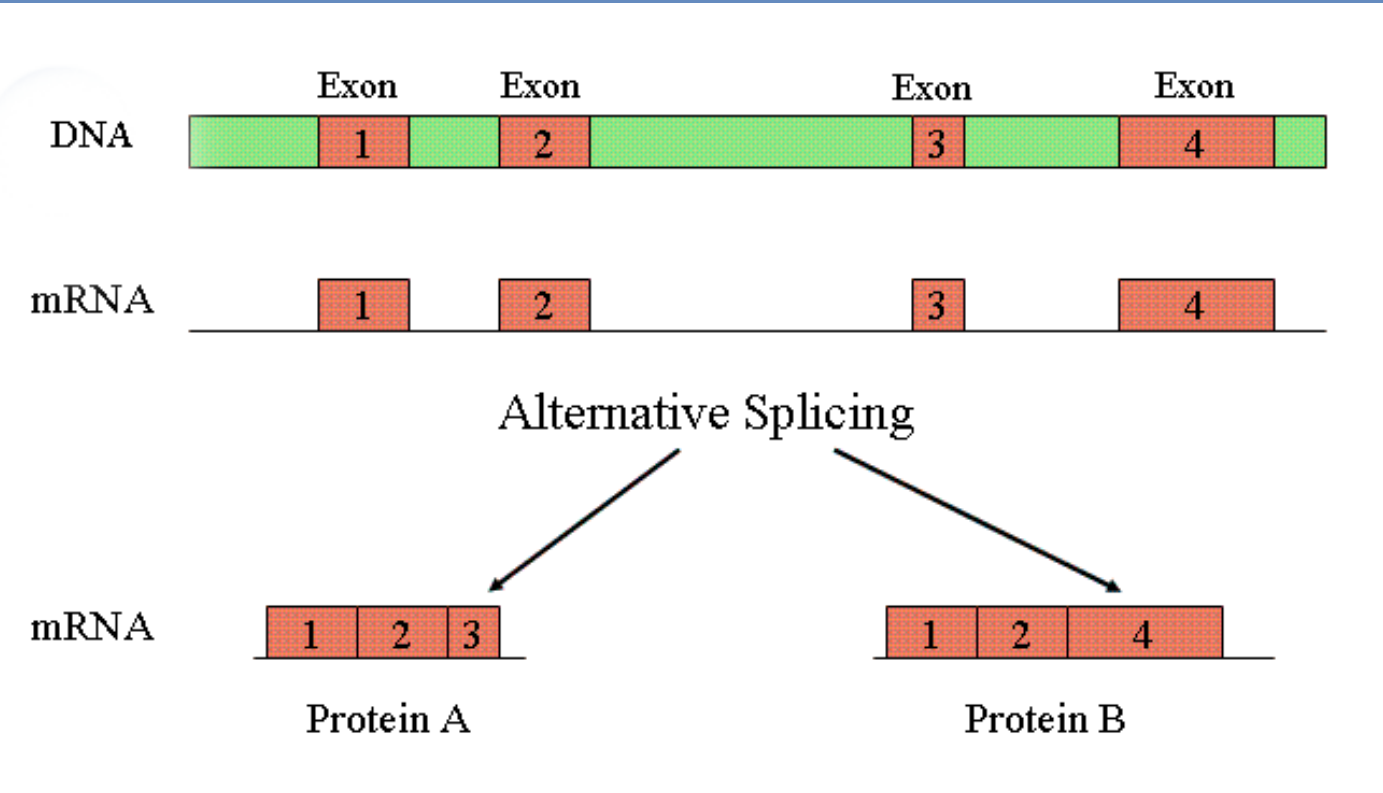



# Transkripce

## Posttranskripční úpravy

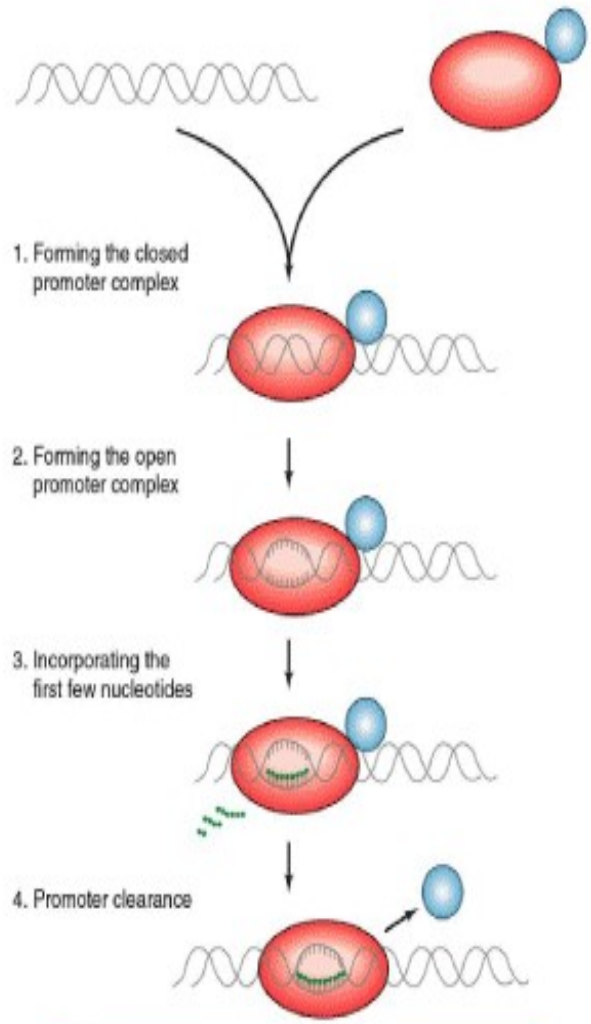
- ▶ „**Splicing**“ ...sestřih
- ▶ Spočívá ve vystřižení nekodujících částí = intronů z původních vlákna a vlákno je dále tvořeno exony = kodující část vlákna, která jsou k sobě enzymaticky spojena



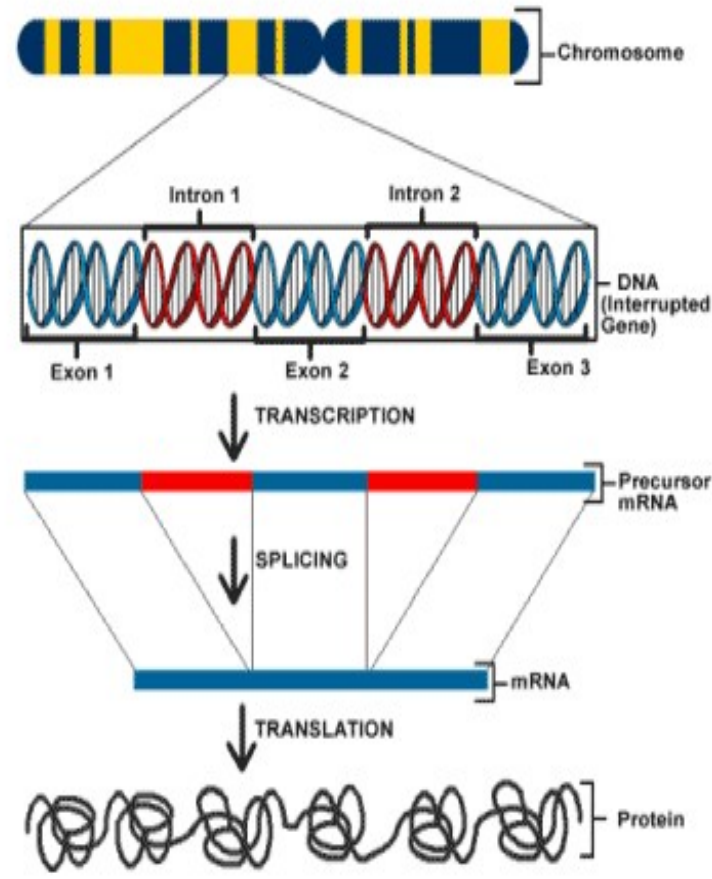


- 
- Co jsou zač introny
  - Parazitický původ?
  - Zvýšení evolučního potenciálu?

# PROKARYOTIC TRANSCRIPTION VS. EUKARYOTIC TRANSCRIPTION



**PROKARYOTIC TRANSCRIPTION**



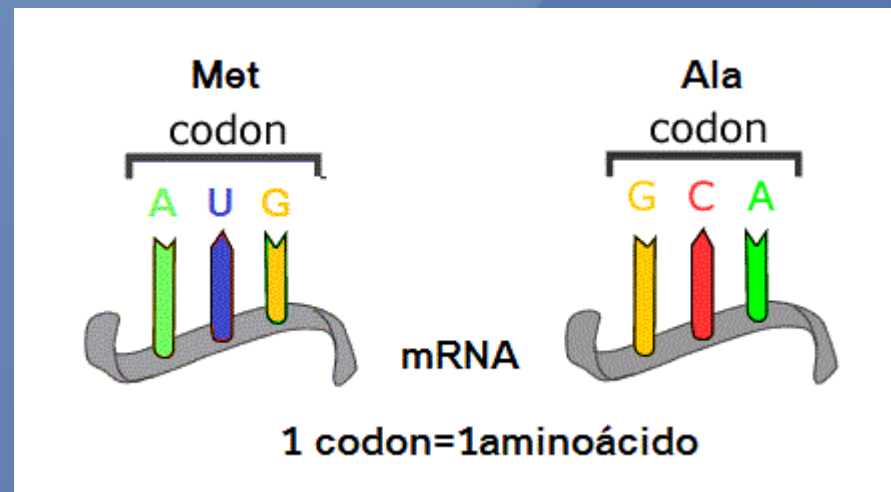
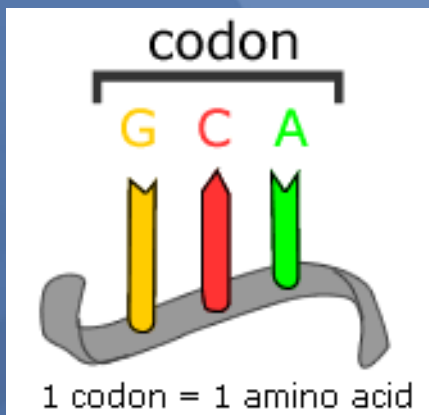
**EUKARYOTIC TRANSCRIPTION**

# Translace

- = překlad
- **Translace** neboli **proteosyntéza** je překlad nukleotidové sekvence **mRNA** do sekvence **aminokyselin** proteinu
- Proces probíhá na ribozomech a jednotlivé aminokyseliny jsou zařazovány podle pravidel genetického kódu

# Genetický kod

- ▶ **1. Tripletový** - každá trojice bází kóduje jednu aminokyselinu - tyto úseky na mRNA se nazývají kodony

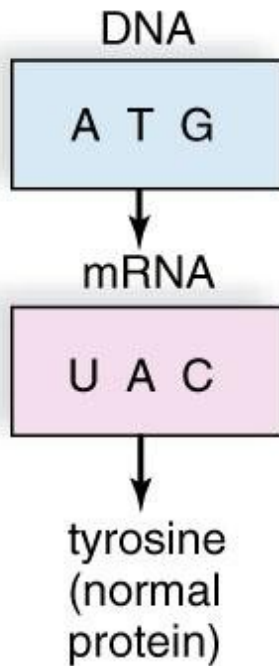


	U		C		A		G	
U	UUU	fenylalanin	UCU	serin	UAU	tyrosin	UGU	cystein
	UUC	fenylalanin	UCC	serin	UAC	tyrosin	UGC	cystein
	UUA	leucin	UCA	serin	UAA	<b>stop</b>	UGA	<b>stop</b>
	UUG	leucin	UCG	serin	UAG	<b>stop</b>	UGG	tryptofan
C	CUU	leucin	CCU	prolin	CAU	histidin	CGU	arginin
	CUC	leucin	CCC	prolin	CAC	histidin	CGC	arginin
	CUA	leucin	CCA	prolin	CAA	glutamin	CGA	arginin
	CUG	leucin	CCG	prolin	CAG	glutamin	CGG	arginin
A	AUU	izoleucin	ACU	treonin	AAU	asparagin	AGU	serin
	AUC	izoleucin	ACC	treonin	AAC	asparagin	AGC	serin
	AUA	izoleucin	ACA	treonin	AAA	lysin	AGA	arginin
	AUG	<b>metionin</b>	ACG	treonin	AAG	lysin	AGG	arginin
G	GUU	valin	GCU	alanin	GAU	kys.	GGU	glycin
	GUC	valin	GCC	alanin	GAC	asparagová	GGC	glycin
	GUA	valin	GCA	alanin	GAA	kys.	GGA	glycin
	GUG	valin	GCG	alanin	GAG	glutamová	GGG	glycin

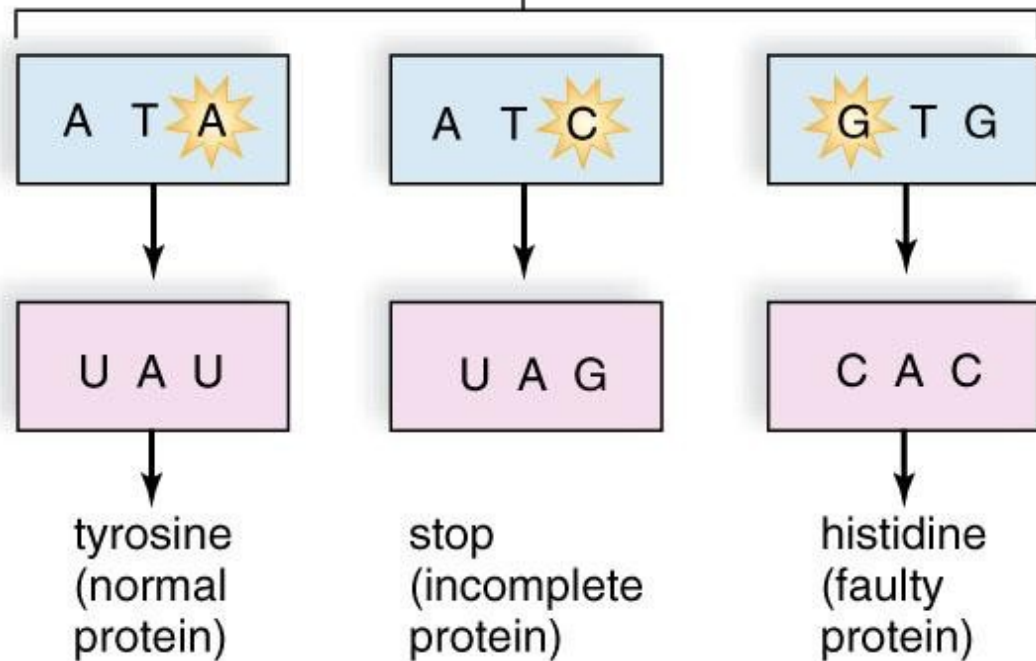
# Genetický kod

- ▶ **2. Degenerovaný** - pro asi 20 aminokyselin existuje mnohem více kódujících kodonů, z toho plyne, že některé aminokyseliny jsou kódované více tripletami. Tato degenerace má své výhody - například pokud dojde k bodové mutaci (substituci) na třetí pozici kodonu - je ve většině případů zařazena stejná aminokyselina.

### No mutation



### Point mutations





# Genetický kod

- ▶ **3. Univerzální** - je platný pro všechny organismy na Zemi (existují ale i výjimky - např. u genetického kódu lidských mitochondrií)
- ▶ celkem jsou 4 báze, takže pro kombinaci máme celkem  $4 \times 4 \times 4 = 64$  možností
- ▶ triplet **AUG** - iniciační (zároveň kóduje methionin)
- ▶ triplety **UAA**, **UAG** a **UGA** - terminační, neboli beze smyslu.

# Translace

Pro translaci jsou zapotřebí:

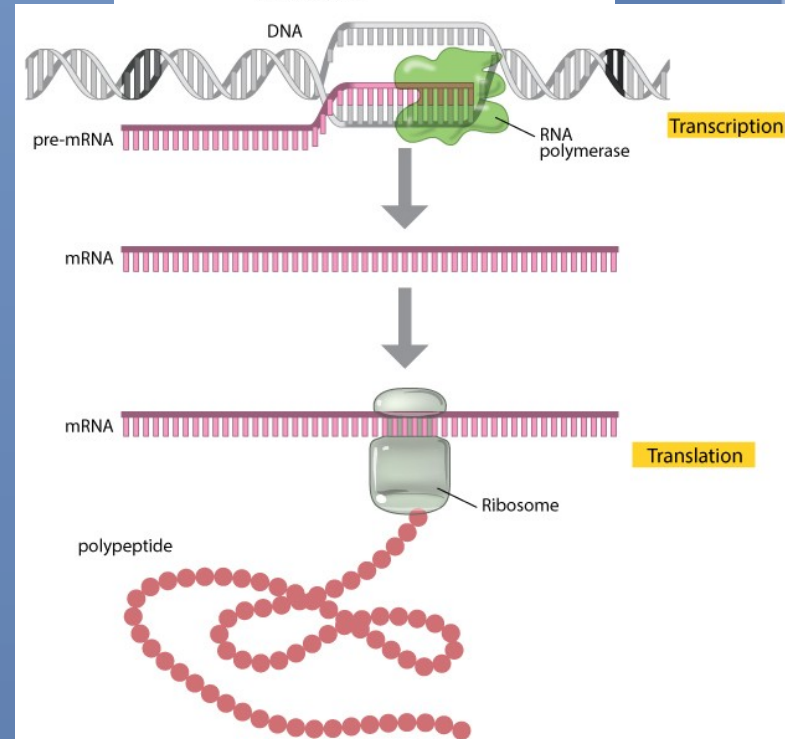
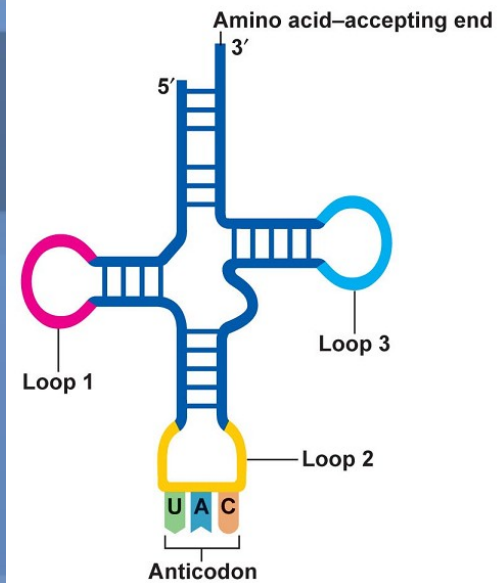
▶ RNA molekuly:

**mRNA** (informační) – nese informaci o pořadí aminokyselin

**rRNA** (ribosomální) - stavební jednotky ribosomu (kromě proteinů)

**tRNA** (transferová) – přenašeč aminokyselin při syntéze proteinů na ribosomu

▶ enzymy podmiňující jednotlivé reakce (eIF, GTP, ATP, aminokyseliny atd.)



# Translace

- u **prokaryot**:
  - translace **probíhá současně s transkripcí** → tedy na jednom konci vznikající molekuly mRNA probíhá již translace a na druhém pokračuje transkripce;
- u **eukaryot**:
  - transkripcí vzniká pre-mRNA a následně dochází k **posttranskripčním úpravám**;
  - definitivní molekula mRNA je nejprve transportována z jadra **do cytoplazmy** pomocí *transportních proteinů* → pak teprve dochází na ribozomech k **translaci**;
  - proteiny, které vznikají na *volných ribozomech*, zůstanou **pro buňku**;
  - proteiny vzniklé na *ribozomech endoplazmatického retikula* pak buňka **transportuje** do extracelulárního prostoru.

# Translace

## Iniciace

- ▶ **iniciační tRNA** (zvláštní tRNA přenášející AMK **Methionin**: Met-tRNA<sup>iMet</sup>), **GTP** (potřebný zdroj energie)...
- ▶ komplex je navázán na malou podjednotku (**40S**) ribosomu;
- ▶ k této malé podjednotce ribosomu připojena molekula **mRNA**
- ▶ za pomoci energie získané štěpením ATP se molekula mRNA **posunuje** po malé jednotce ribosomu tak dlouho, dokud nenarazí na první triplet **AUG** (triplet pro **Met**) → dojde k **otevření čtecího rámce** (mechanismus zajišťující čtení informace po trojicích bazí mRNA) a zahájení translace;
- ▶ vzniklý komplex je následně **spojen s větší podjednotkou** ribosomu za pomoci energie uvolněné štěpením GTP

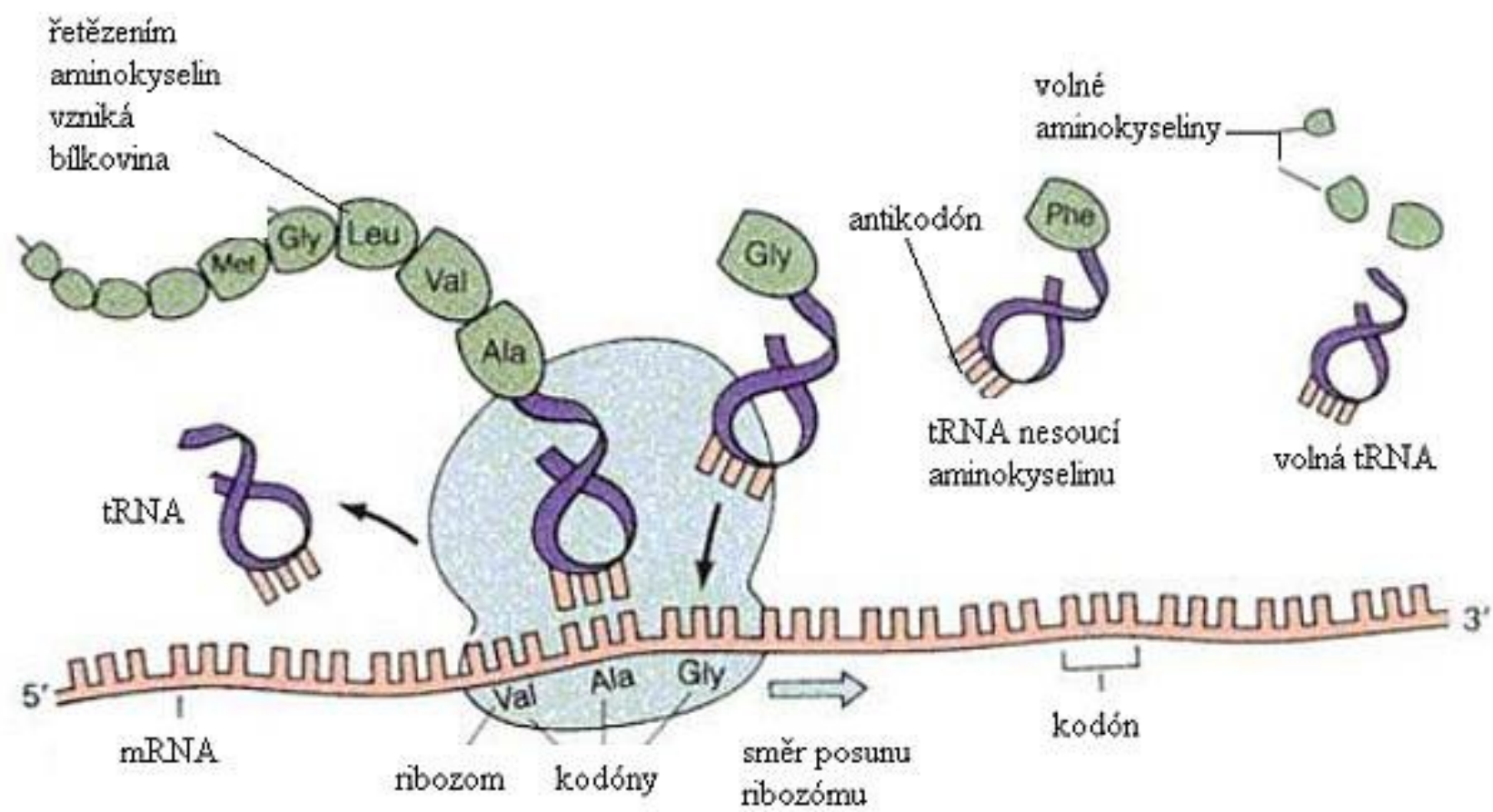
# Translace

## Elongace:

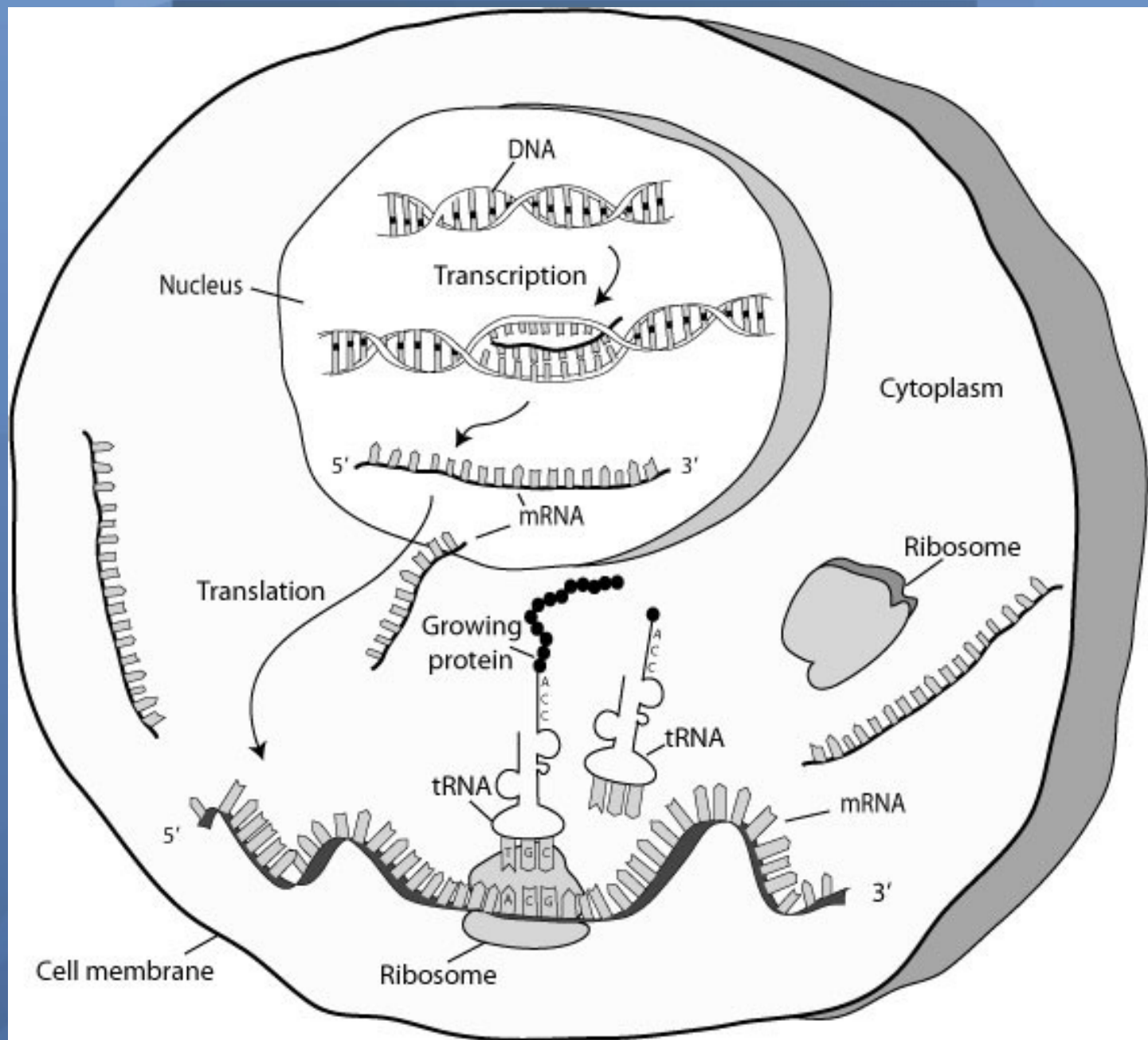
- ▶ celý děj (systém kodon na mRNA – antikodon na tRNA) se opakuje až do doby, než je na molekule mRNA nalezen některý **stop-kodon = terminační kodon** (UAA, UAG, UGA);

## Terminace:

- ▶ pak nastupuje další bílkovinný faktor (RF), který hotový **polypeptid uvolní** z ribozomálního komplexu.





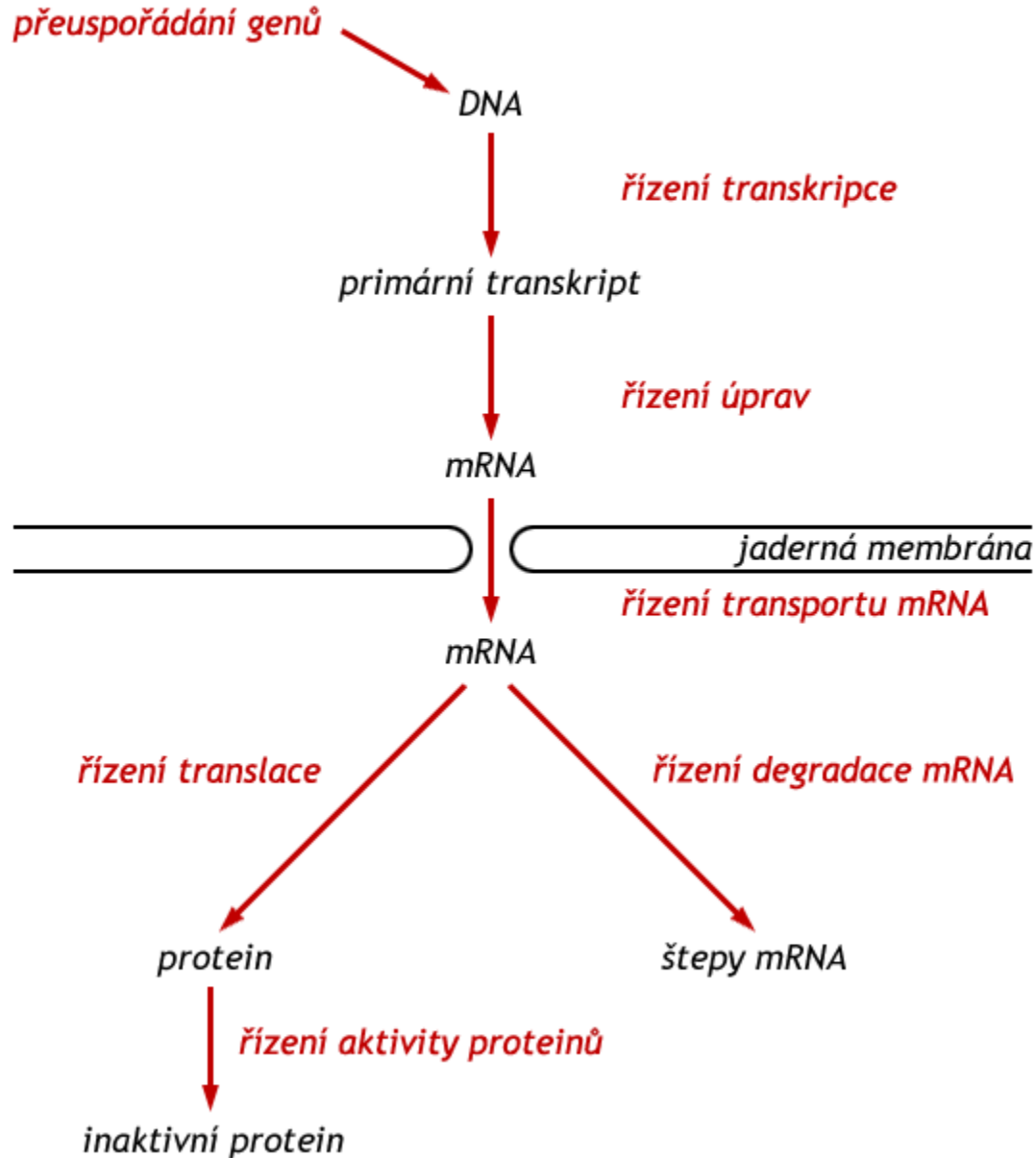




# Regulace a řízení exprese genů

- Je dobře prostudovaná u prokaryot
- U eukaryot má více úrovní a mechanismy jsou složitější

# Úrovně regulace exprese genů u eukaryot



# Odlišná exprese genů u odlišných buněk

Všechny buňky našeho těla vznikly mitózou, první buňkou byla zygota. A (téměř) všechny buňky našeho těla obsahují stejný genom

Jak je tedy možné, že se naše tělo skládá z cca 200 typů buněk? (svalové, nervové...?)

Typická lidská buňka přepisuje v daném čase jen asi 20 % svých genů, velmi diferencované buňky, jako jsou svalové buňky přepisují dokonce ještě menší procento genů.

Jednotlivé buňky se tedy od sebe liší ani ne tak tím, že by obsahovaly odlišné geny, nýbrž tím, že odlišné geny jsou exprimovány.

Otázkou tedy jest, jak může RNA polymeráza najít v nezměrném moři písmen začátek správného genu, který má v této buňce v tomto čase přepsat?!