

# Definice genového inženýrství

Genové inženýrství se zabývá vytvářením pozměněných či nových genů nebo přípravou nových („nepřirozených“) kombinací genů a jejich zaváděním do genomu organismů s cílem rekonstruovat jejich genetickou výbavu a vytvářet tak geneticky modifikované anebo transgenní organismy.

**Metodickým základem genového inženýrství jsou manipulace s DNA *in vitro* (klonování genů a jejich úpravy) a cílené změny genetické informace prováděné *in vivo***

Aplikace GI: moderní (molekulární) biotechnologie

# Genové inženýrství (syllabus přednášky 2016)

1. Osnova přednášky, definice genového inženýrství a jeho stručná historie, studijní literatura. Mutageneze *in vitro* (metody založené na restričních místech, metody založené na mutagenních oligonukleotidech, kazetová mutageneze, využití modifikovaných tRNA)
2. Optimalizace exprese klonovaných genů (faktory ovlivňující expresi genů v cizích hostitelích; úroveň transkripce, translace, export proteinů)
3. Klonování genů v grampozitivních bakteriích
4. Klonování genů v kvasinkách
5. Klonování genů v rostlinách, příprava transgenních rostlin
6. Klonování genů v živočišných buňkách, vektory pro přenos genů do savčích buněk, selekční markery pro vyhledání klonů obsahujících cizorodou DNA
7. Vnášení genů do zárodečných buněk myší, příprava transgenních savců
8. Cílená exprese cizorodých genů v buňkách a tkáních vyšších organismů
9. Opravy dědičných defektů u zvířat metodami genového inženýrství
10. Editace genomů *in vivo*, meganukleázy, systémy CRISPR/Cas
11. Příprava farmakologicky významných látek v prokaryotických a eukaryotických organismech. Využití metod rekombinantní DNA k přípravě vakcín a protilátek. Identifikace produktů rekombinantních genů.
12. Pravidla pro práci s geneticky modifikovanými organismy, zákon 78/2004 Sb., rizika GI. Povinné školení pro studenty.

# Doporučená literatura

- **Watson J.D. a kol. Rekombinantní DNA, krátký kurz. Academia Praha 1988.**
- **Watson J.D. et al., Recombinant DNA, 2nd ed., W.H.Freeman, New York 1992.**
- **Old R.W., Primrose S.B., Principles of gene manipulation. An introduction to genetic engineering. Blackwell Science, 1995. 5. vydání.**
- **Strachan T., Read A.P. Human Molecular Genetics, 3. Vydání. Garland Science, London 2004.**
- **Glick B.R., Pasternak J.J. Molecular Biotechnology, 3. vydání, ASM Press, Washington 2003.**
- **Reece R. Analysis of Genes and Genomes. Wiley 2004**
- **Primrose S.B., Twyman R.M. Principles of gene manipulation and genomics. Blackwell Publ., 2006, 7. vydání.**
- **Snustad D.P., Simmons M.J.: Genetika (překlad originálu Principles of Genetics), MU Brno, 2009**
- **Základní metody: Šmarda J. a kol.: Metody molekulární biologie, Brno, 2005.**
- **Internetové zdroje,**
- **IS muni.cz**

# Využití genového inženýrství

**Ve výzkumu:** studium struktury, funkce a exprese genů (genomů)

**V praxi (Moderní biotechnologie):**

- 1. Příprava látek významných v lékařství, zemědělství a průmyslu**
  - vnášení cizorodých genů do nepříbuzných organismů a získávání produktů ve velkém množství – *překonání reprodukčních bariér*
- 2. Příprava látek s novými vlastnostmi pozměňováním stávajících genů nebo vytvářením nových genů – *enzymy, protilátky, vakcíny aj.***
- 3. Pozměňování a zlepšování vlastností organismů - vytváření geneticky modifikovaných n. transgenních organismů (GMO)**
  - *příprava mikroorganismů pro biotechnologie,*
  - *zvyšování výnosů kulturních rostlin a užitkovosti hosp. zvířat (odolnost vůči chorobám, škůdcům nebo zevním vlivům, produkce cizích látek v tělech rostlin a zvířat)*
  - **genové terapie**

# Předpoklady pro cílené genetické manipulace

- Identifikovat geny a stanovit jejich funkce
- Izolovat geny a cíleně je *in vitro* (*in vivo*) pozměňovat
- Přenést vhodným způsobem upravené geny do původních nebo jiných (**nepříbuzných**) organismů a zajistit jejich expresi (**heterologní** expresní systémy)

# Etapy vzniku a vývoje genového inženýrství

## Poznání základních procesů přenosu genetické informace

1970 – izolace prvního restrikčního enzymu

1972 – příprava prvních rekombinantních molekul DNA *in vitro*

1973 – začátek klonování genů

1975 – Asilomarská konference, moratorium NIH (1976)

1976 – první pravidla práce s rekombinantní DNA

1977 – první rekombinované molekuly DNA nesoucí savčí geny

1977 – sekvenování DNA

1978 – příprava lidského inzulinu v bakteriích

(od r. 1982 vyráběn komerčně), založení Genentech

zavedení technik mutageneze *in vitro* – proteinové inženýrství

příprava transgenních organismů (bakterie, kvasinky, rostliny, živočichové)

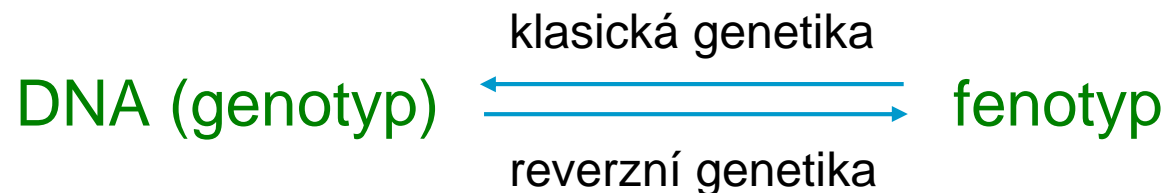
1980 – první pokusy o genovou terapii

1997 – klonování živočichů

# Mutagenese *in vitro*

site-directed mutagenesis  
místně cílená (řízená) mutagenese  
lokalizovaná mutagenese, řízená evoluce

reverzní genetika\*, genetika „naruby“



\* **Reverzní genetika – „vypínání genů“ navozování nulových mutací genů nebo potlačování jejich exprese (knokauty genů, transpozonová inzerční mutagenese, knockdown – umlčování genů pomocí anti-sense RNA, RNAi, CRISPR/Cas aj).**

## Princip mutageneze *in vitro*

Mutace se vnášejí do vyizolované DNA (= *in vitro*)

**Typy mutací:** substituce, delece, inserce

### Cíle:

Výzkum:

- Analýza vztahu mezi strukturou a funkcí NK
- Objasnění funkce genů a regulačních oblastí

Praxe:

- Cílené změny aminokyselin v proteinech - příprava proteinů s novými (lepšími) vlastnostmi (**proteinové inženýrství**)
- Příprava geneticky modifikovaných a transgenních organismů

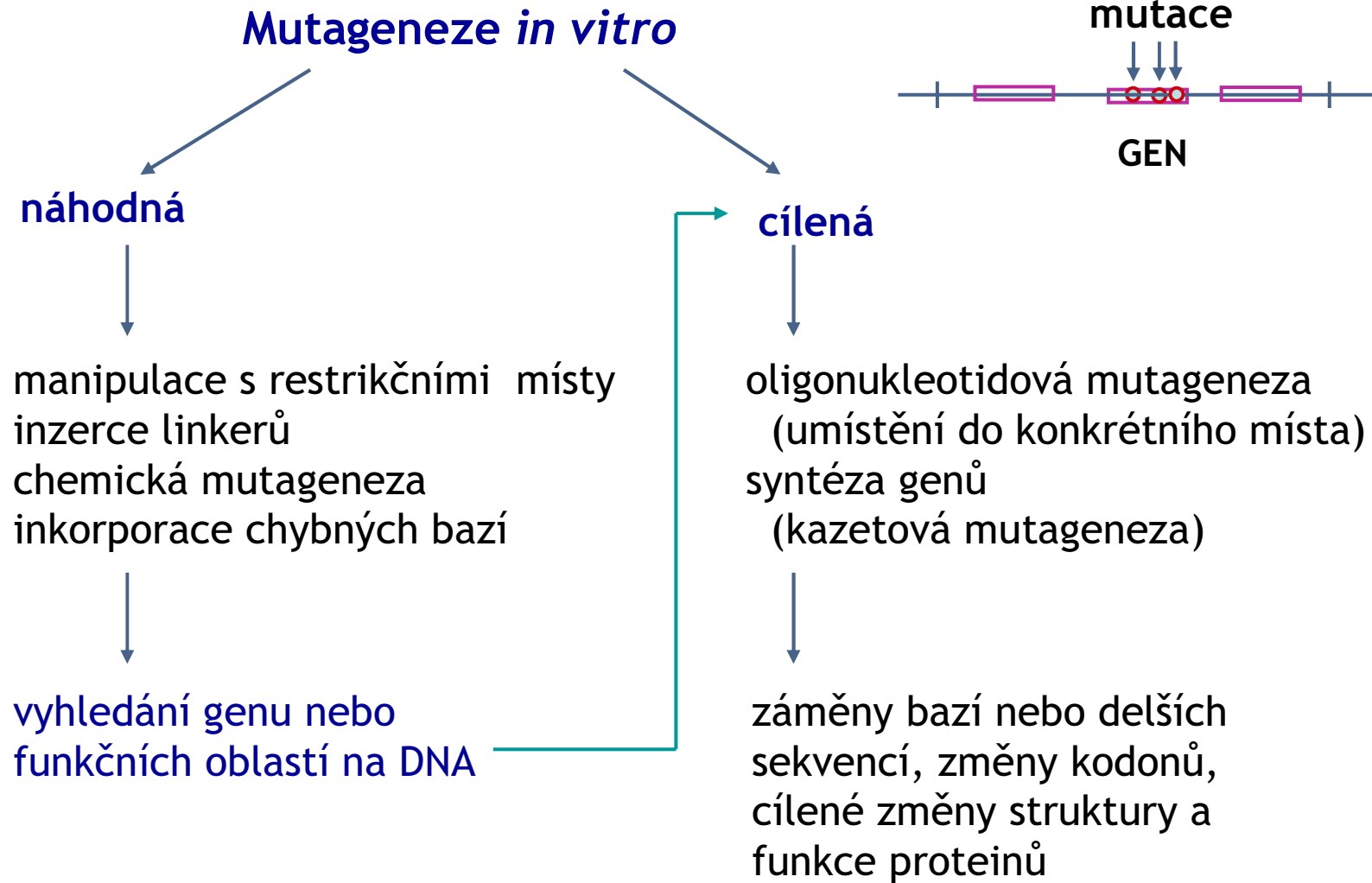


# **Nevýhody klasické mutageneze**

(chemické, fyzikální, biologické mutageneze)

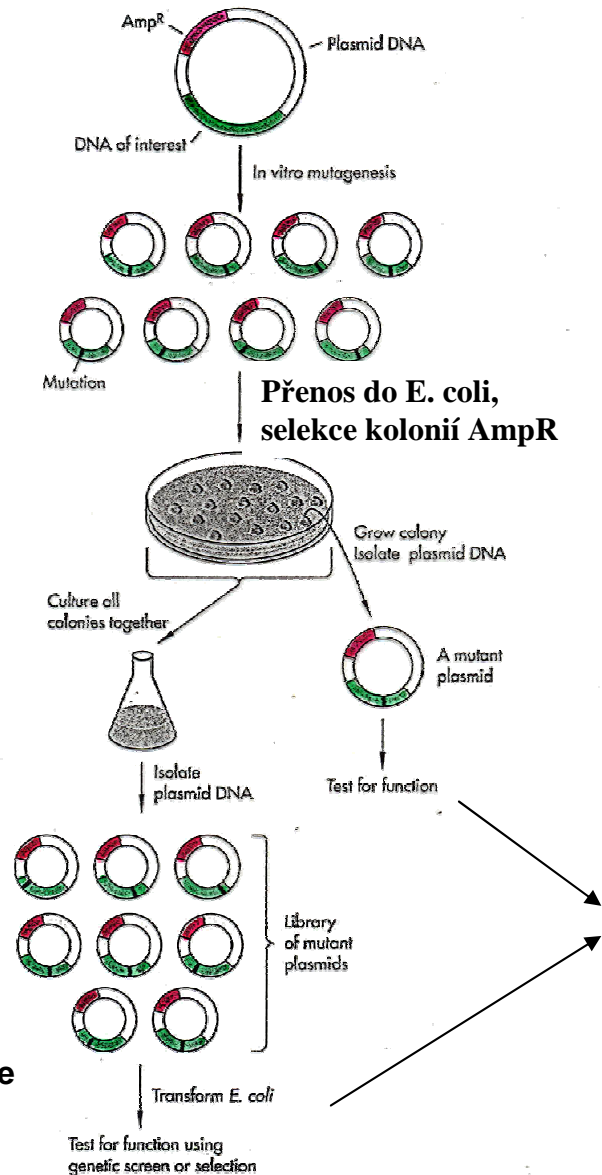
1. V organizmu může být zmutován kterýkoliv gen
  - **necílené působení mutagenu; mutaci nelze cílit na konkrétní sekvenci**
2. Frekvence mutací v žádaném genu může být nízká
  - **závislost na charakteru působení mutagenu a konkrétní sekvenci**
3. Žádaný fenotyp může být výsledkem mutací v různých genech
  - **řada znaků je výsledkem působení více genů**

# Mutageneze *in vitro* - přístupy



# Obecná strategie při mutagenезi *in vitro*

Alternativa  
klonování genů  
ve vektorech =  
PCR



Skríning nebo  
selekce a  
testování funkce

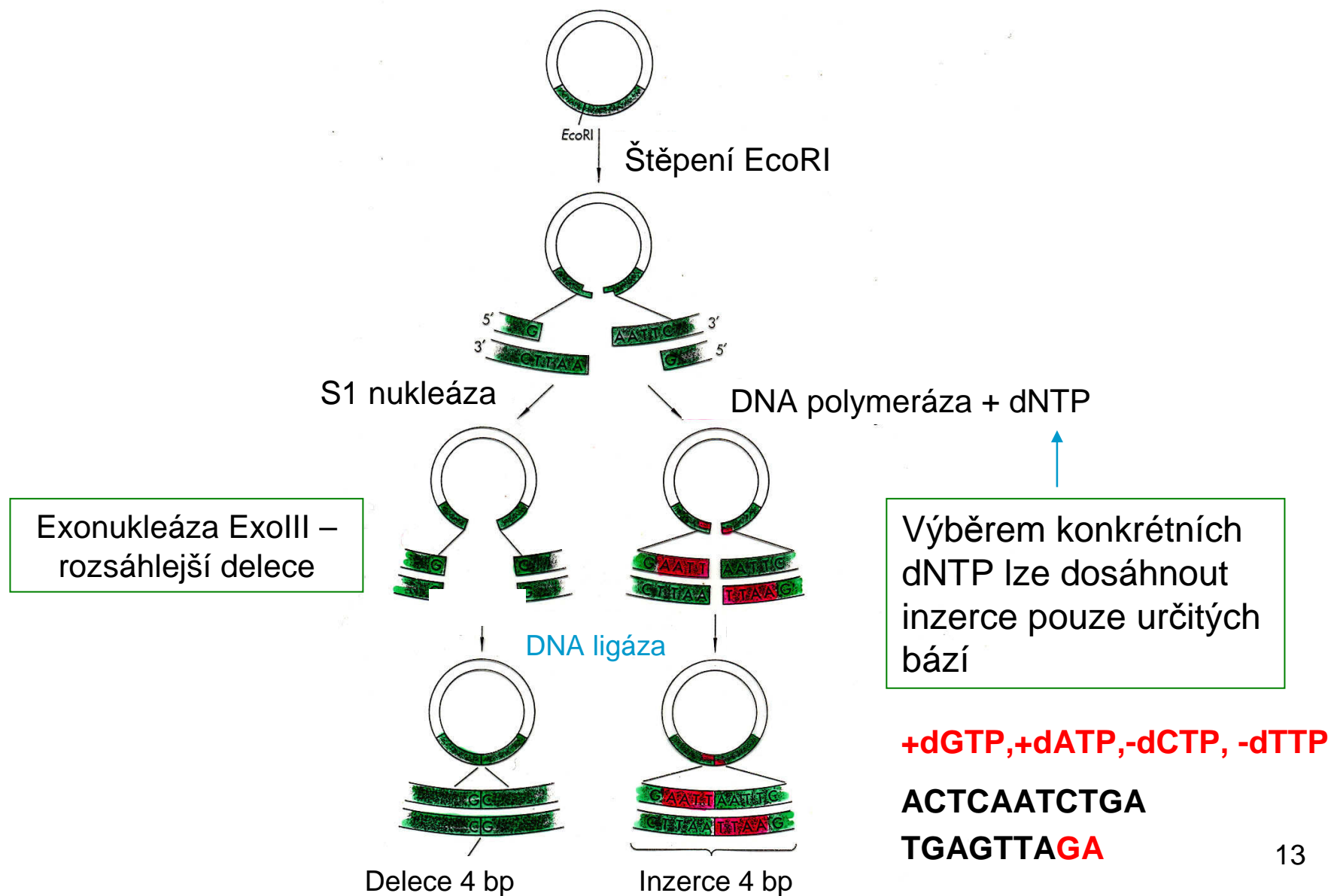
1. Klonování genu (sekvence DNA) určeného k mutagenезi
2. Vlastní proces mutagenезe *in vitro*
3. Selekcce klonů obsahujících mutované geny (sekvence)
4. Stanovení pozměněné funkce mutovaných genů
5. Ověření charakteru vnesené mutace (stanovení sekvence)

Stanovení sekvence  
pozměněného genu

# Způsoby používané při mutagenezi *in vitro*

- 1. Manipulace s restrikčními místy a enzymatické úpravy DNA**
- 2. Oligonukleotidová mutageneze (extenze primeru)**
- 3. Chemická mutageneze**
- 4. Kazetová mutageneze**
- 5. Metody založené na PCR**
- 6. Mutageneze pomocí supresorových tRNA**

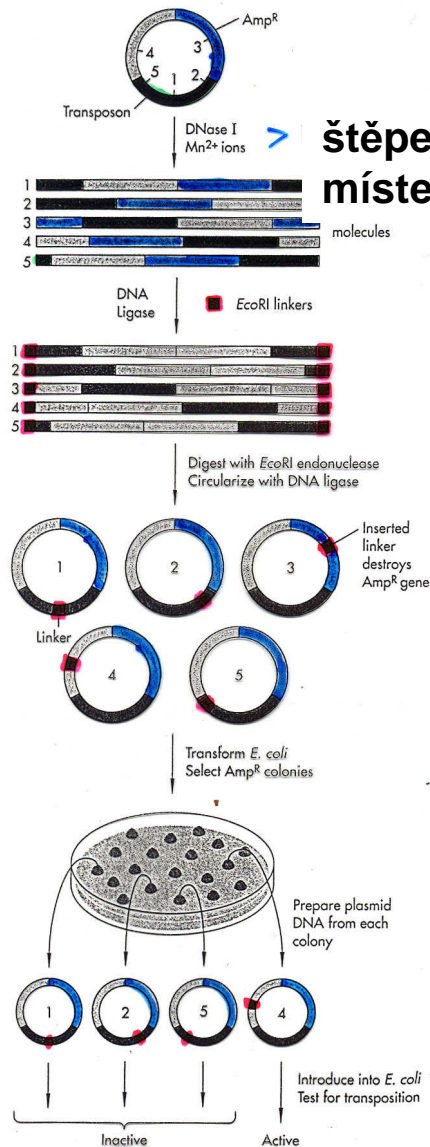
# Vytváření mutací v restričním místě



# Inzerční mutagenese pomocí linkerů k vyhledání funkčních oblastí transpozonu

Soubor náhodně linearizovaných molekul

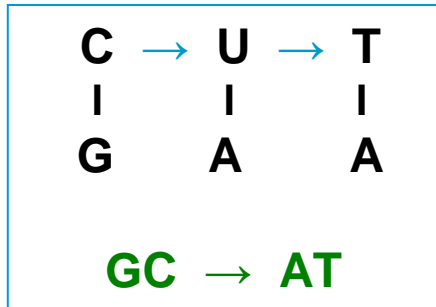
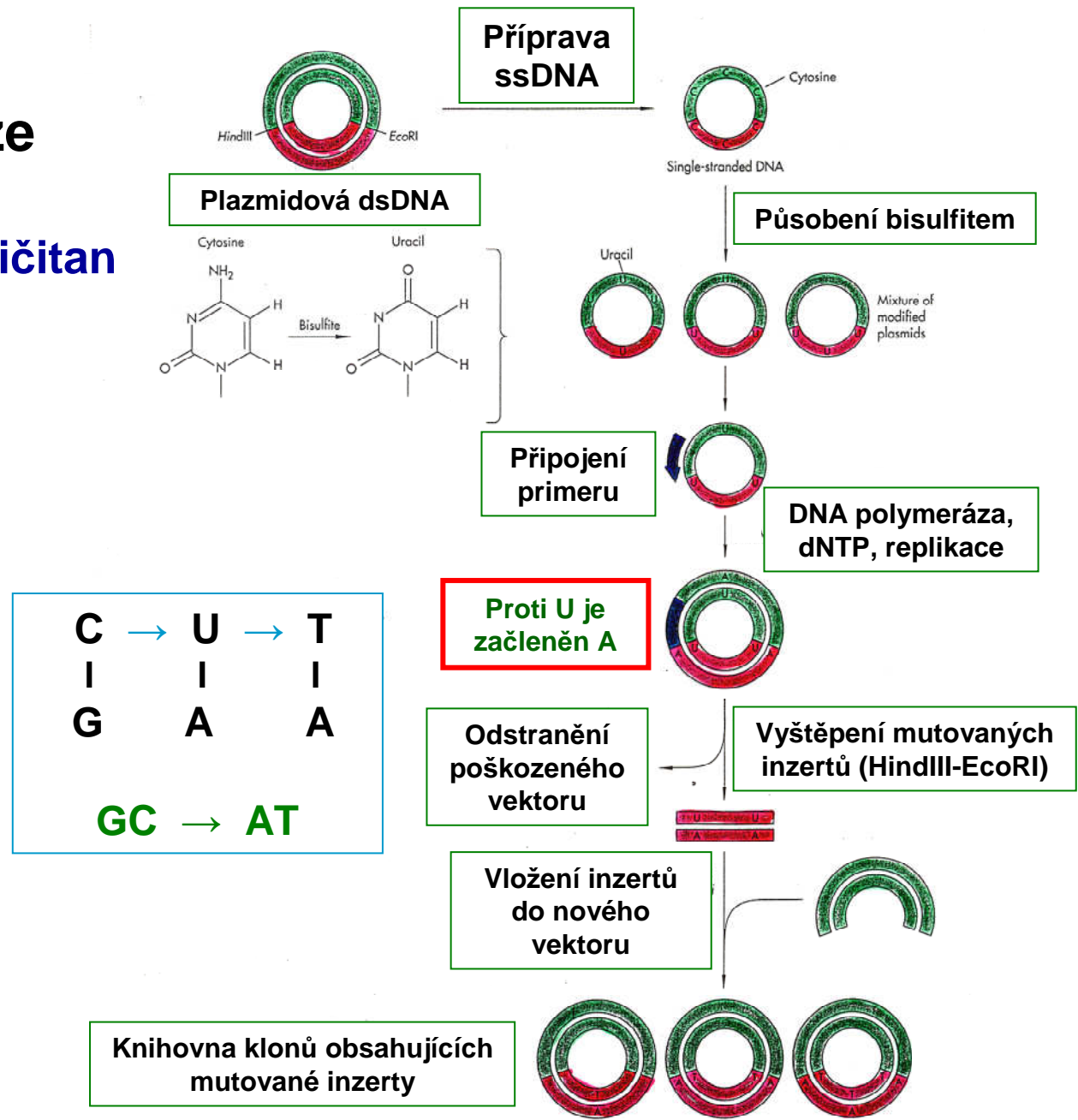
Vložený linker inaktivuje různé geny



Připojení EcoRI-linkerů  
(= vložení inzerce inaktivující zasažený gen)

Selekce klonů se ztrátou transpoziční aktivity, např. vyhledání genu pro transponázu (nebo oblasti transpozonu, která je pro transpozici nezbytná)

# Chemická mutagenéza bisulfitem (hydrogensířičitan sodný)



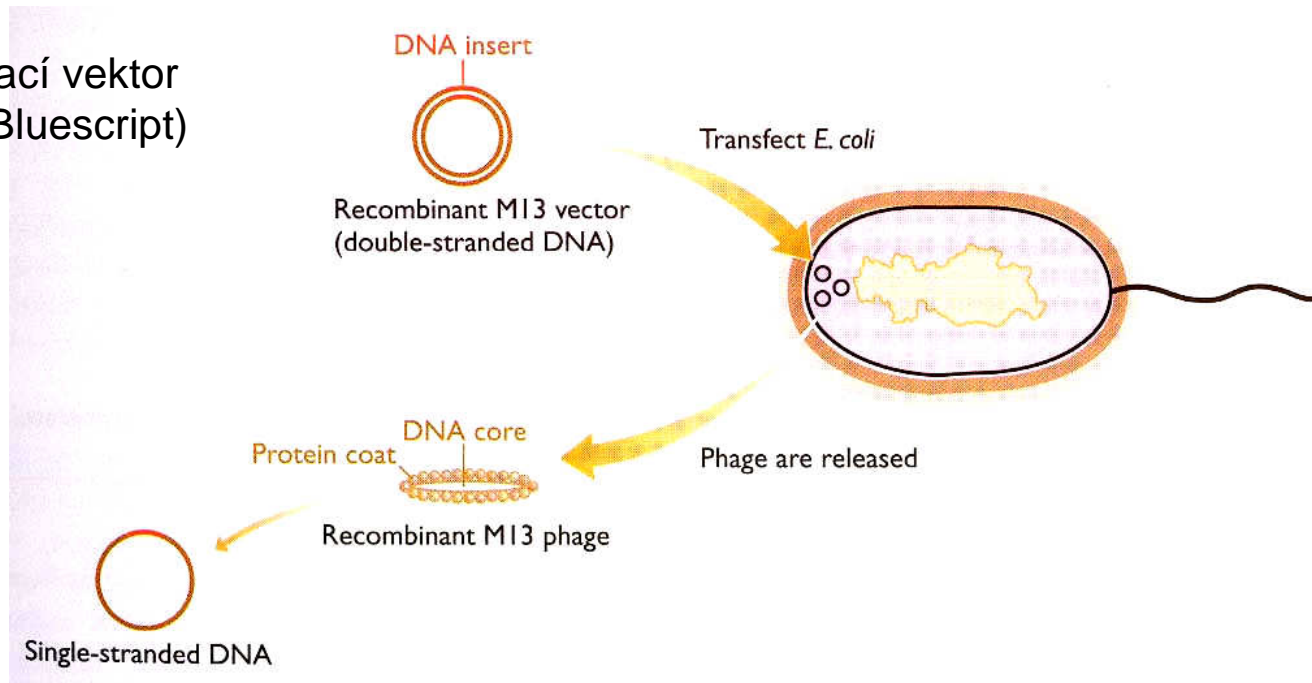
# Mutageneze pomocí mutagenních oligonukleotidů

1. Klonování sekvence (genu) do vhodného vektoru (M13, fágemid, fasmid), izolace jednořetězcové formy rekombinantní DNA
2. Příprava syntetického (mutagenního) oligonukleotidu nesoucího žádanou mutaci (jeho sekvence je komplementární ke klonované sekvenci vyjma místa, do něhož má být mutace vnesena)
3. Připojení (při hybridizování) mutagenního oligonukleotidu *in vitro*
4. Dosyntetizování komplementárního řetězce DNA-polymerázou, spojení DNA-ligázou
5. Transformace buněk *E. coli* heteroduplexní molekulou DNA, selekce mutantních molekul (příp. selekce *in vitro* a transformace mutantními molekulami DNA)
6. Pomnožení mutantní molekuly DNA v *E. coli*, ověření mutace stanovením sekvence DNA

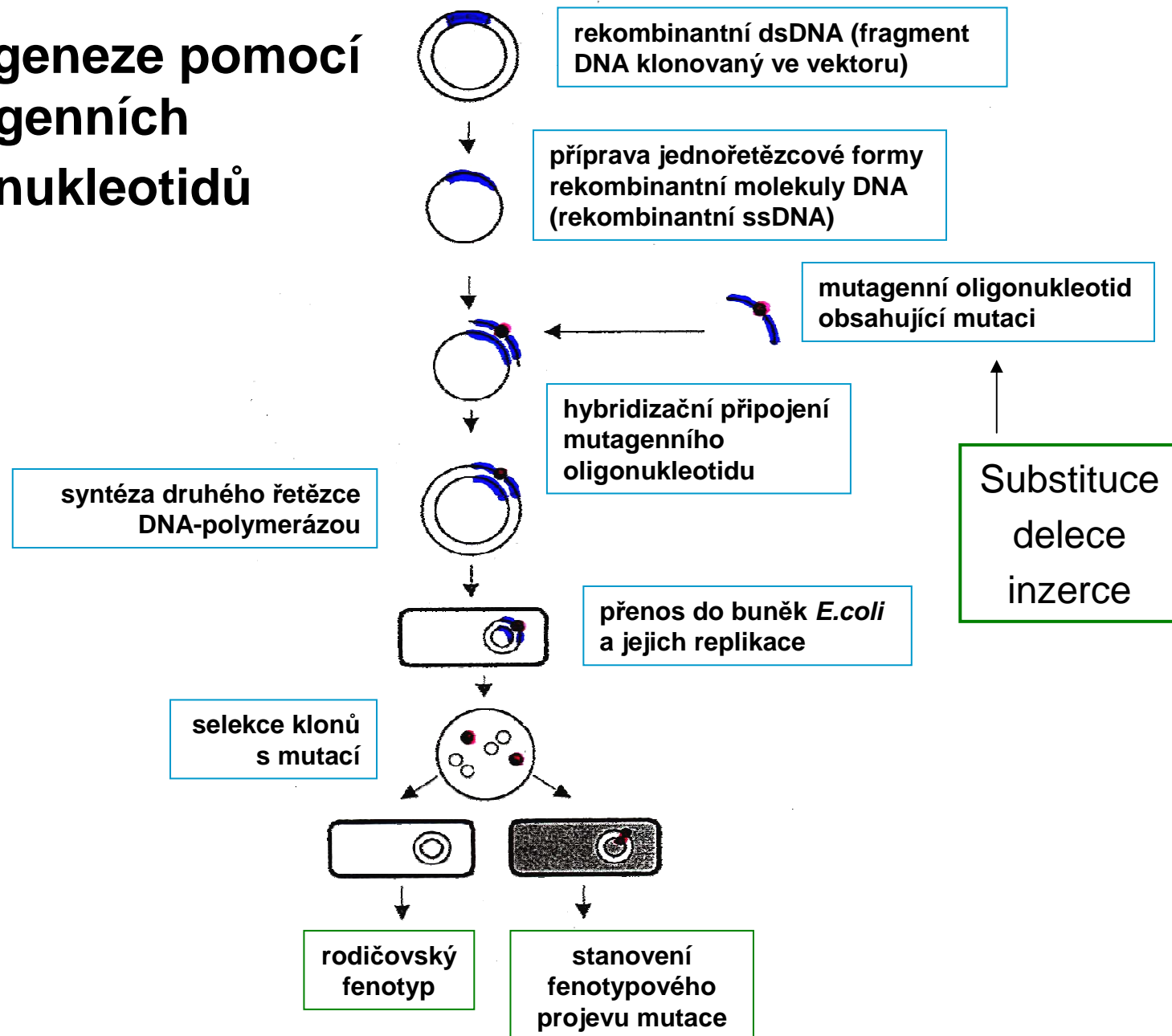


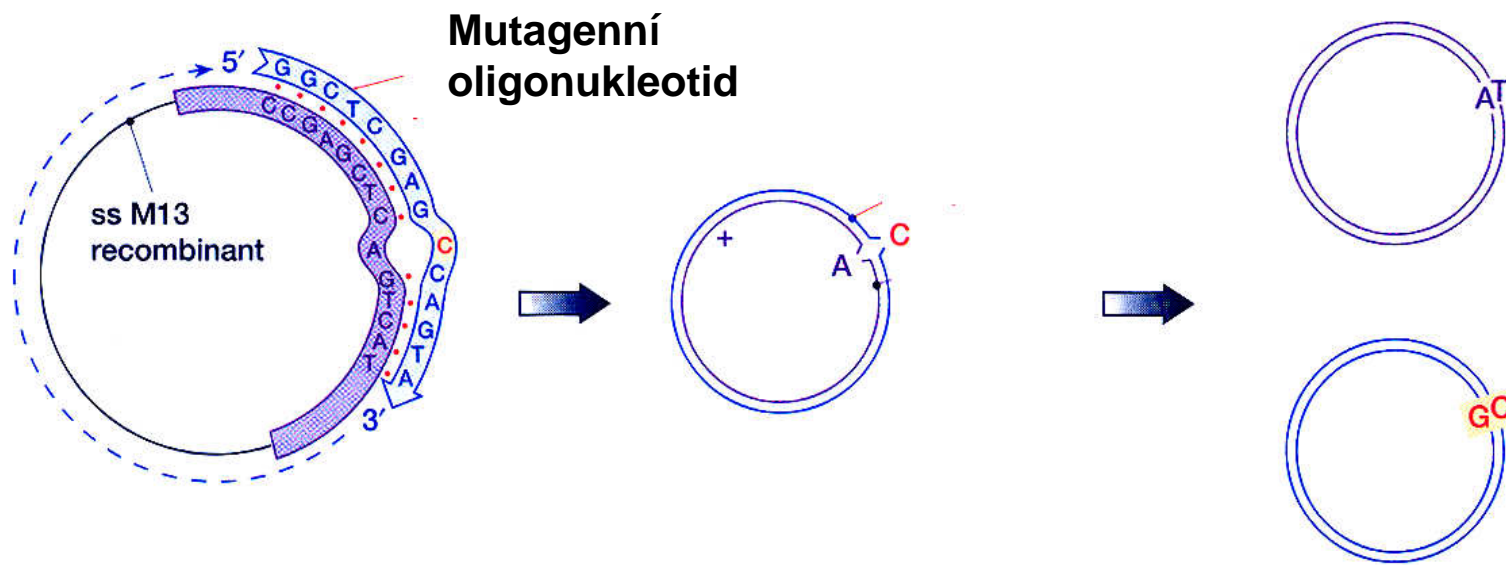
# Klonování genů ve fágemidech

Klonovací vektor  
(např. Bluescript)



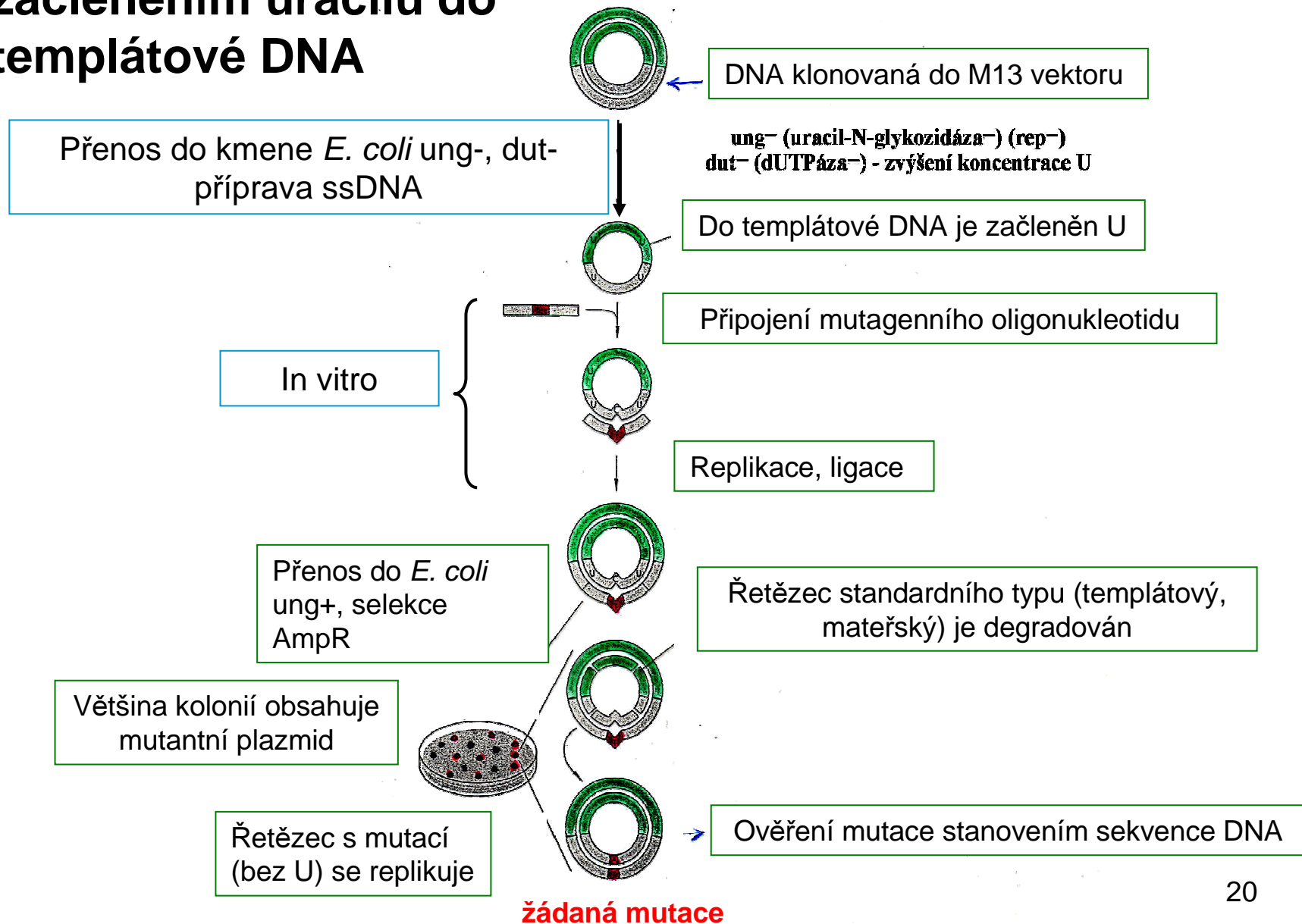
# Mutagenese pomocí mutagenních oligonukleotidů



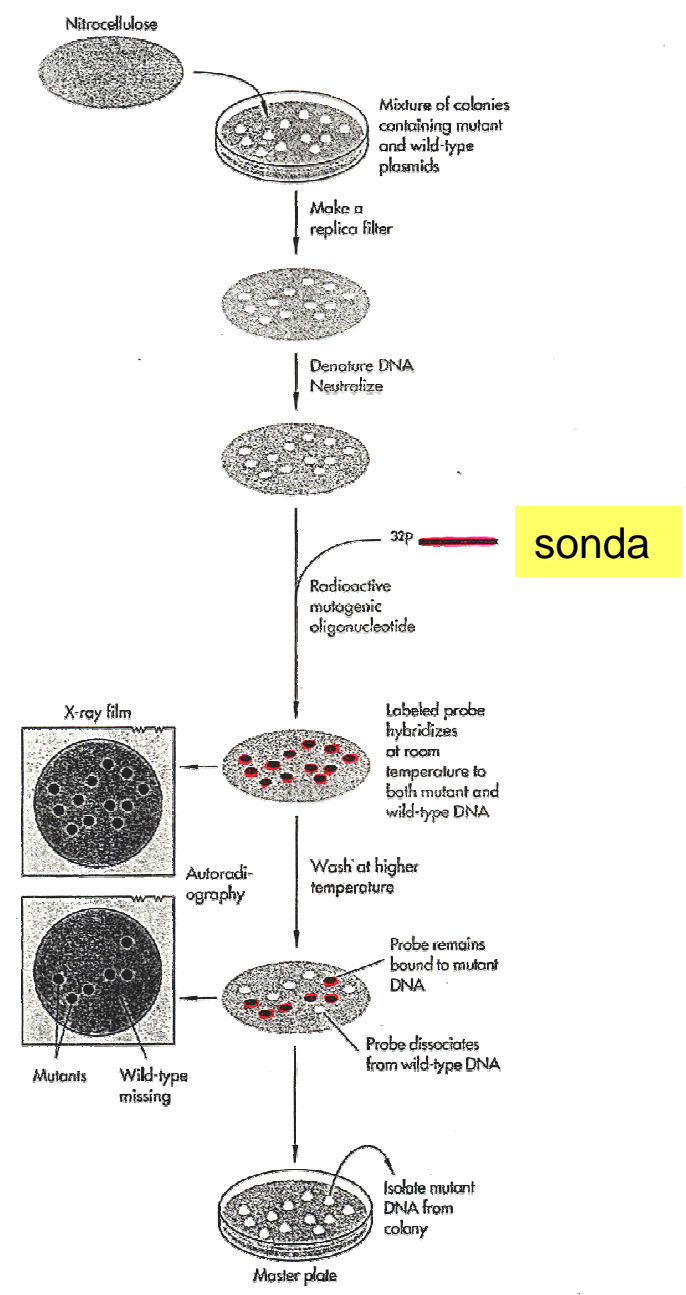


A - T → A - C → G - C

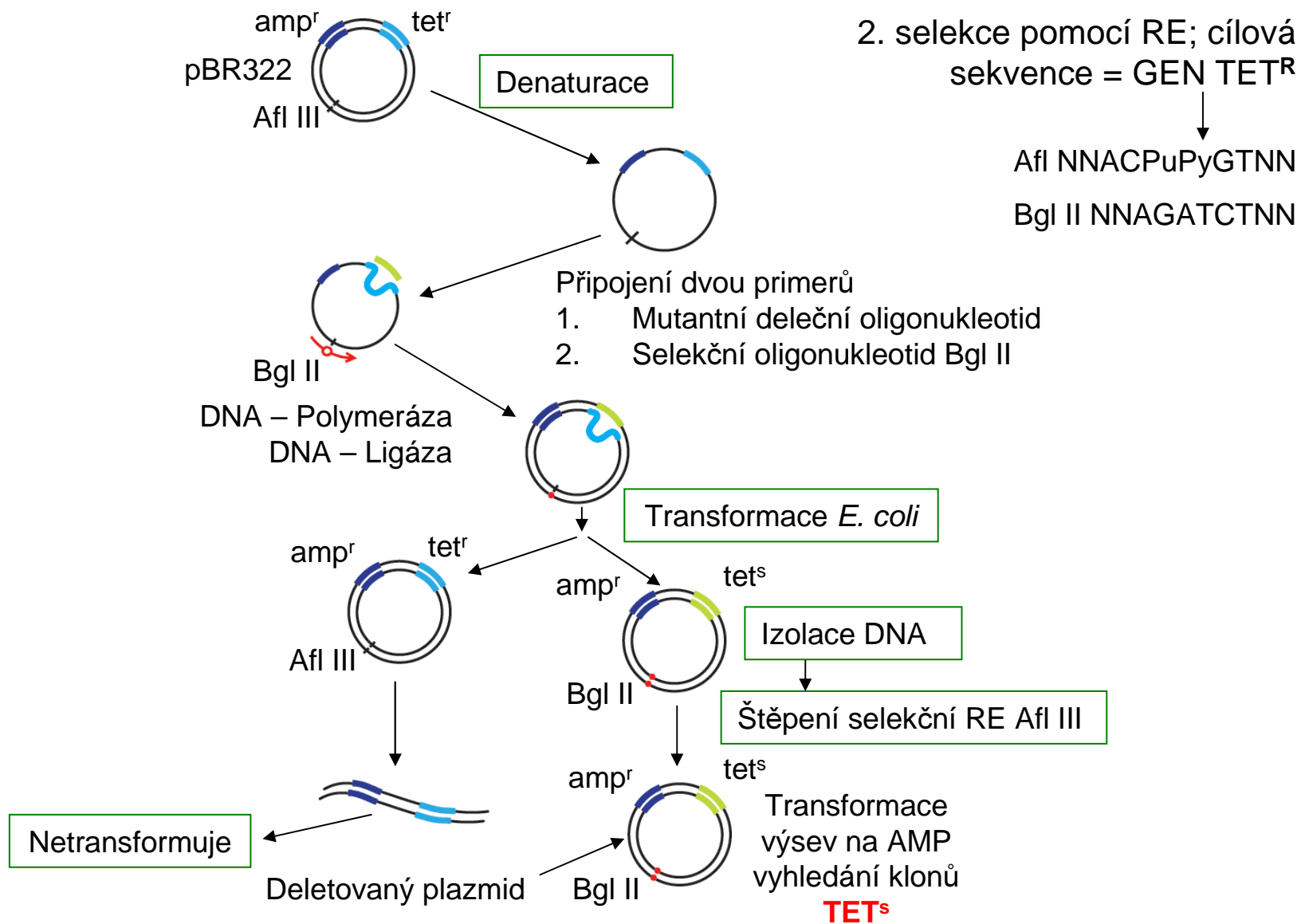
# Zvýšení výnosu mutant začlenením uracilu do templátové DNA



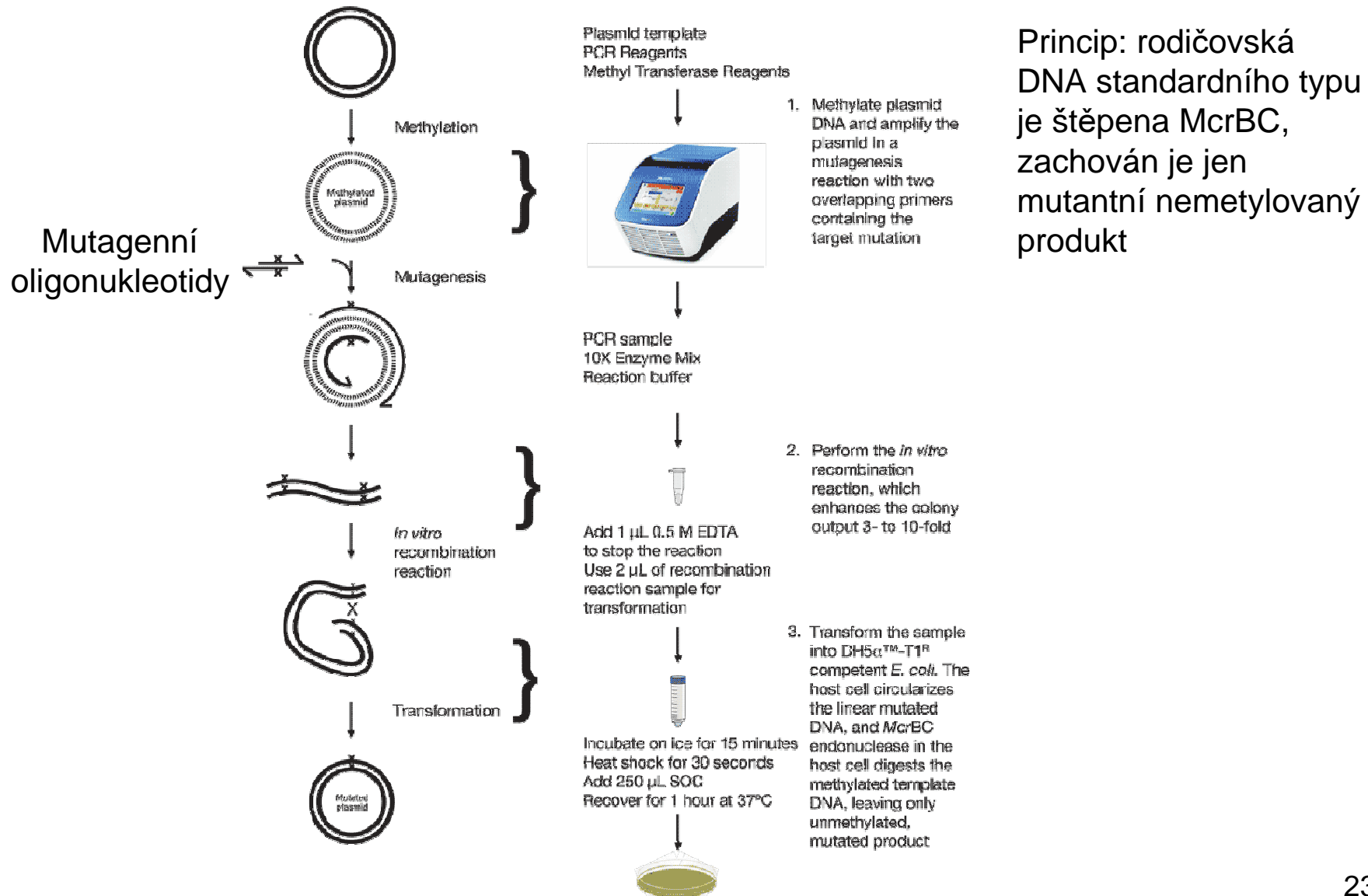
# Vyhledání mutantních klonů pomocí sondy – tou je značený mutagenní oligonukleotid



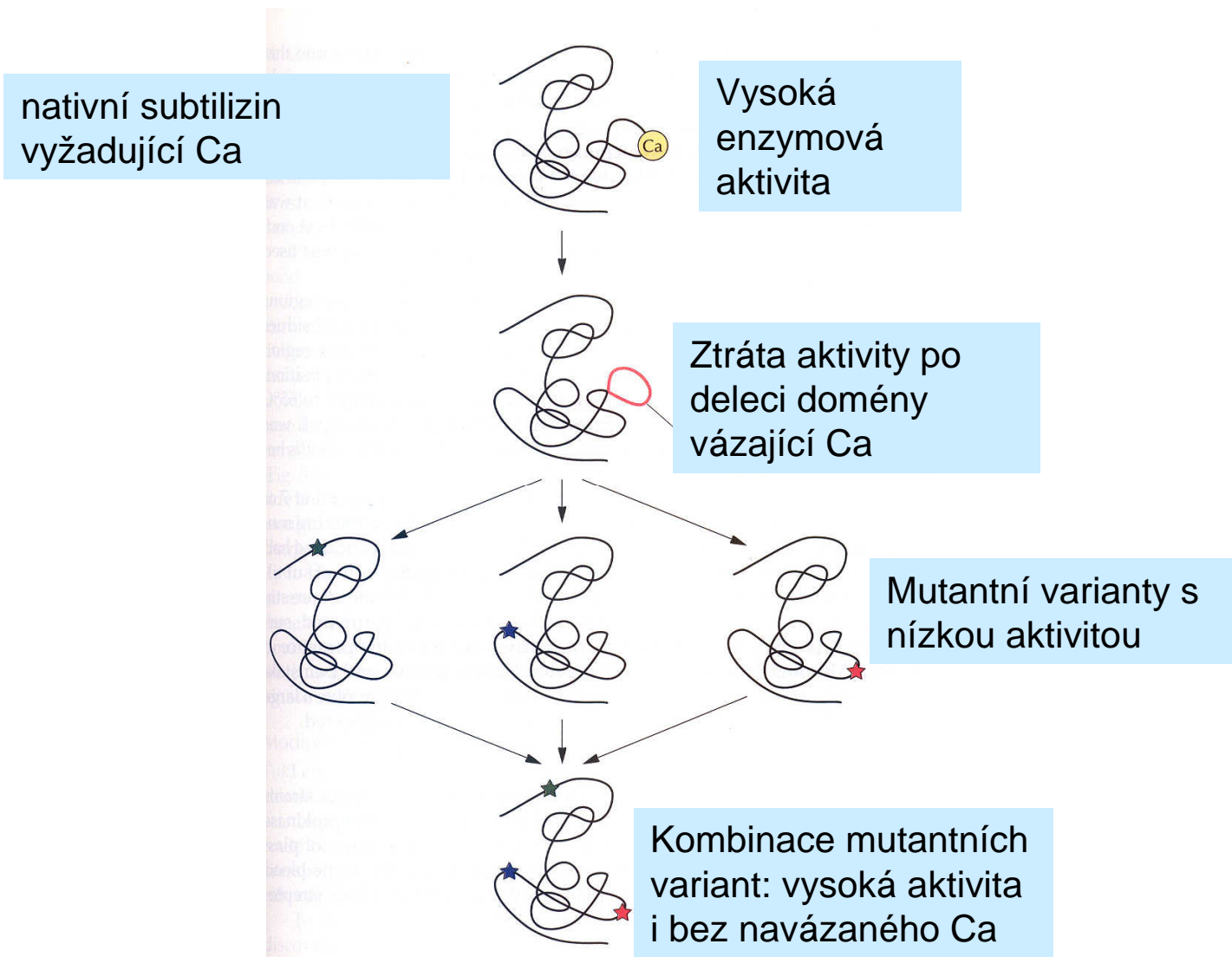
# Mutageneze pomocí mutagenních oligonukleotidů



# Komerční soupravy pro snadné vytváření mutací a selekci

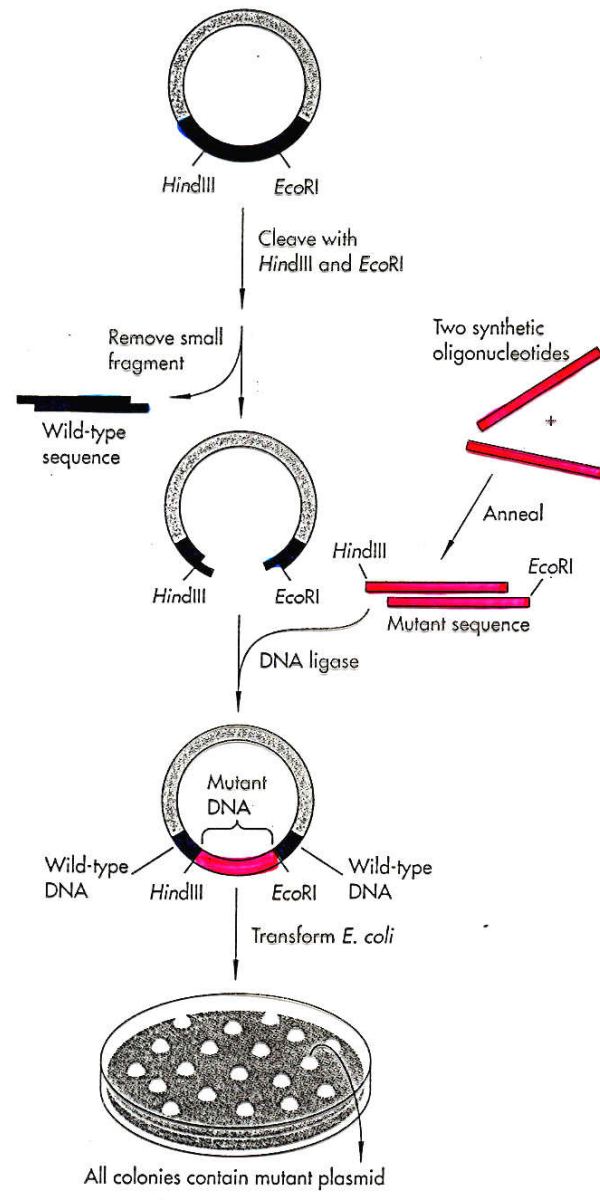


# Modifikace subtilizinů se změněným požadavkem na kofaktory (postupná mutagenze pomocí mutagenních oligonukleotidů)

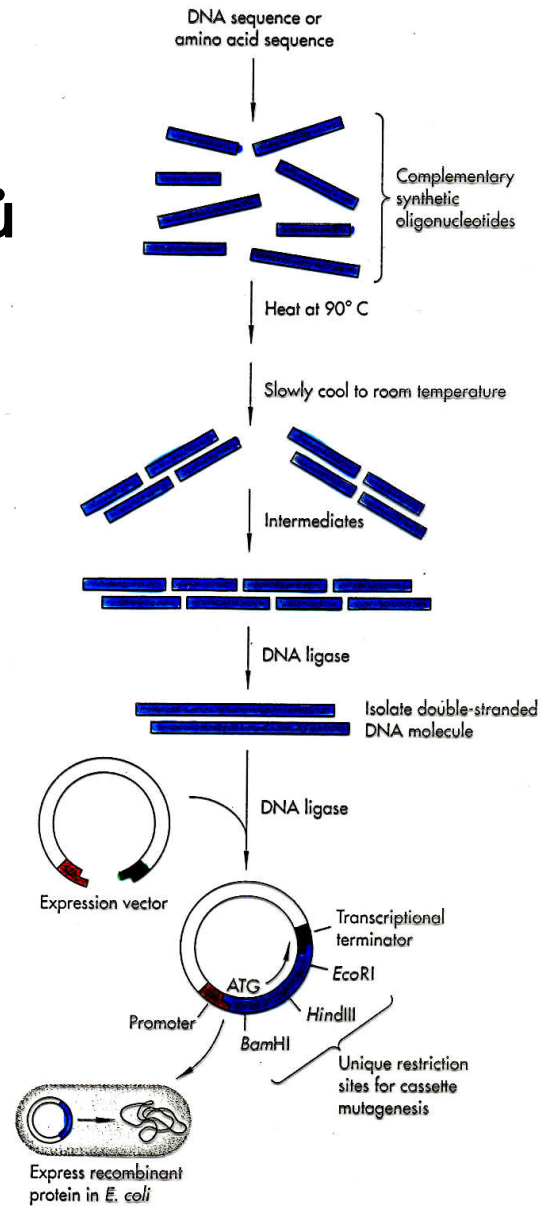




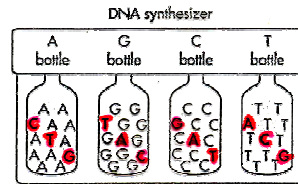
# Kazetová mutageneze



# Syntéza genů postupným spojováním kratších oligonukleotidů



# Mutageneze pomocí kazet tvořených mutantními „doped“ oligonukleotidy – vytváření náhodných sekvencí



„kontaminované“ zásobní roztoky nukleotidů



Anneal



Ligate Transform E. coli



Prepare plasmid DNA from each colony



Sequence each plasmid

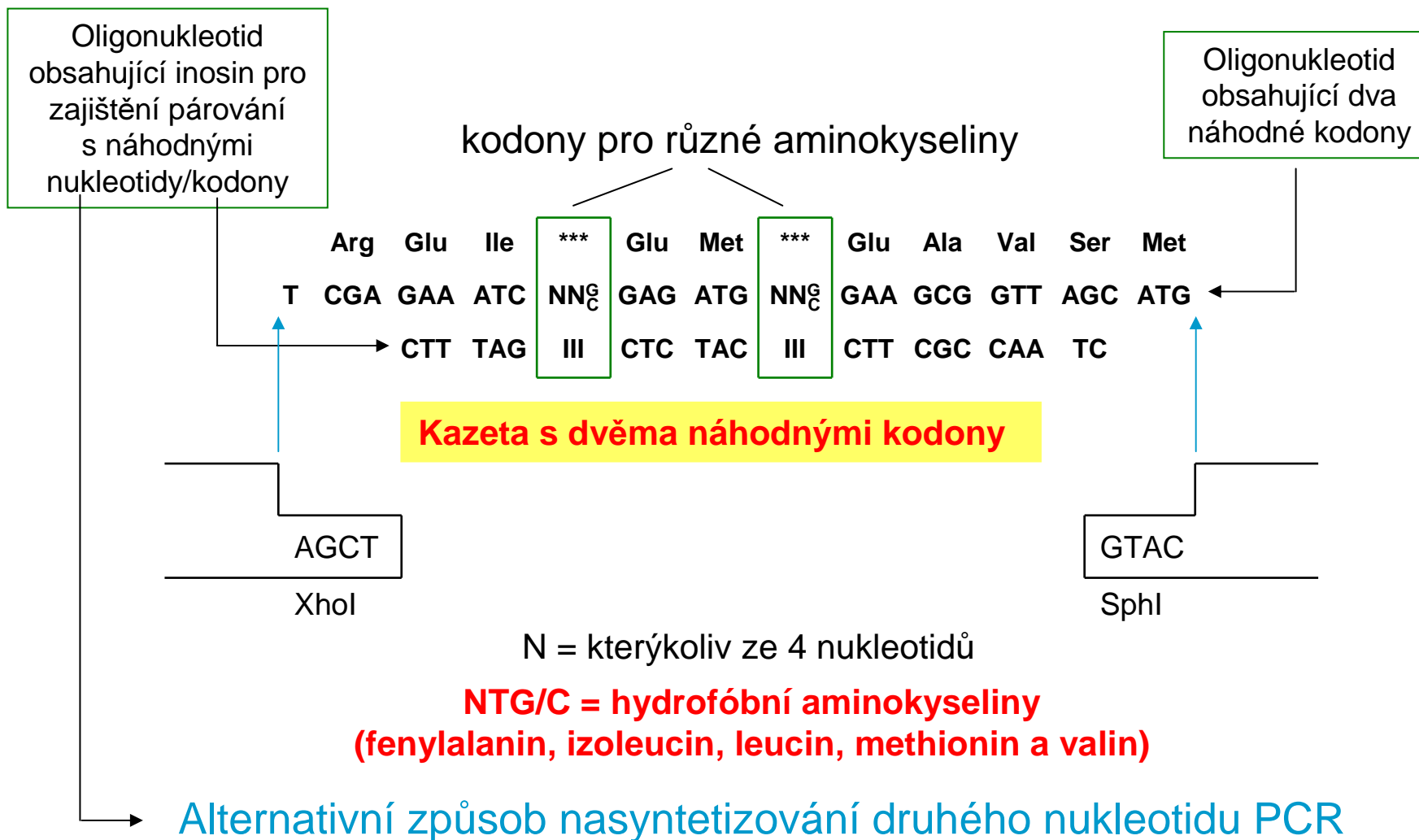


Test for function

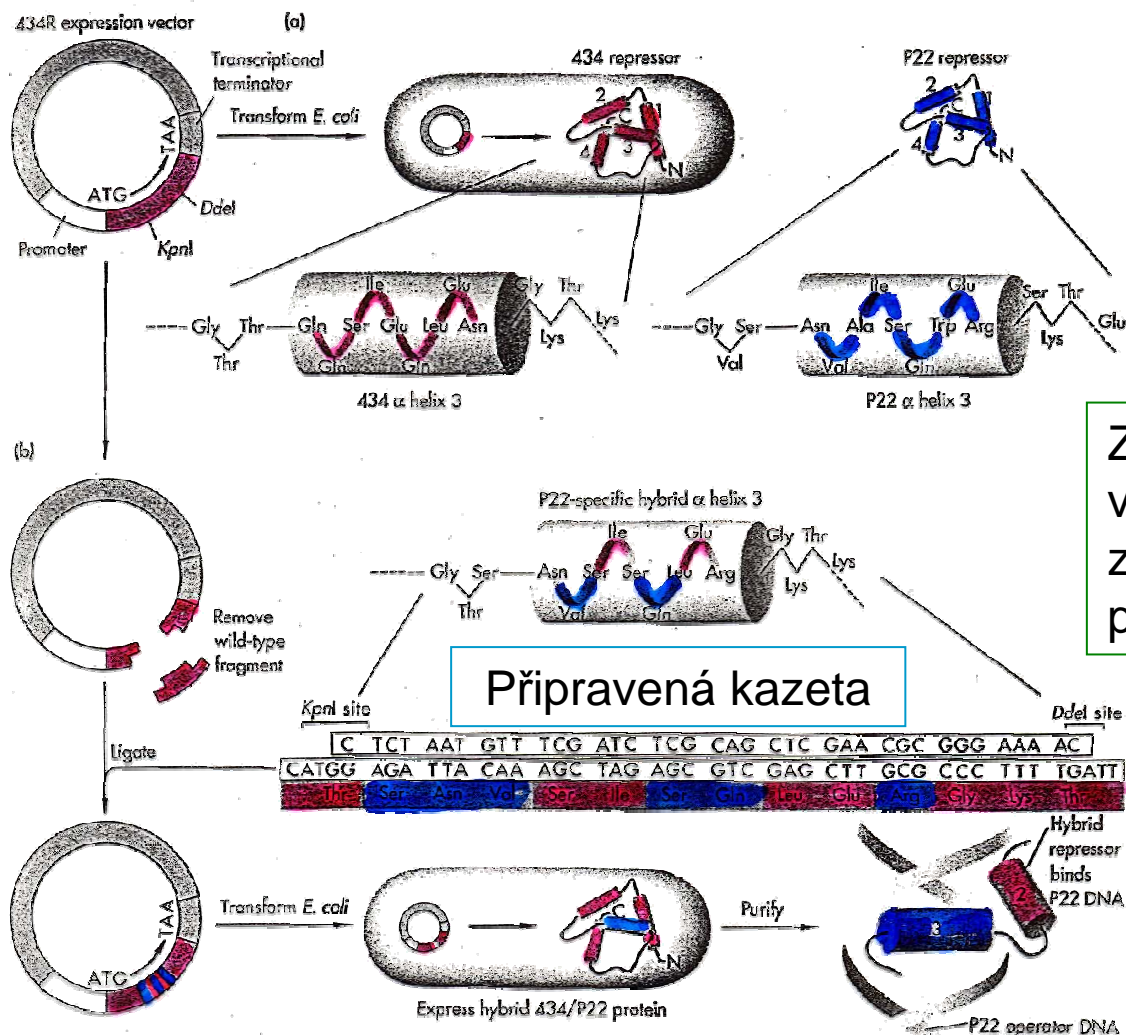
Skríning např. fágovým displayem

546 klonů  
224 wt  
218 - 1x subst.  
104 - více subst.

# Mutageneze pomocí „doped“ oligonukleotidů

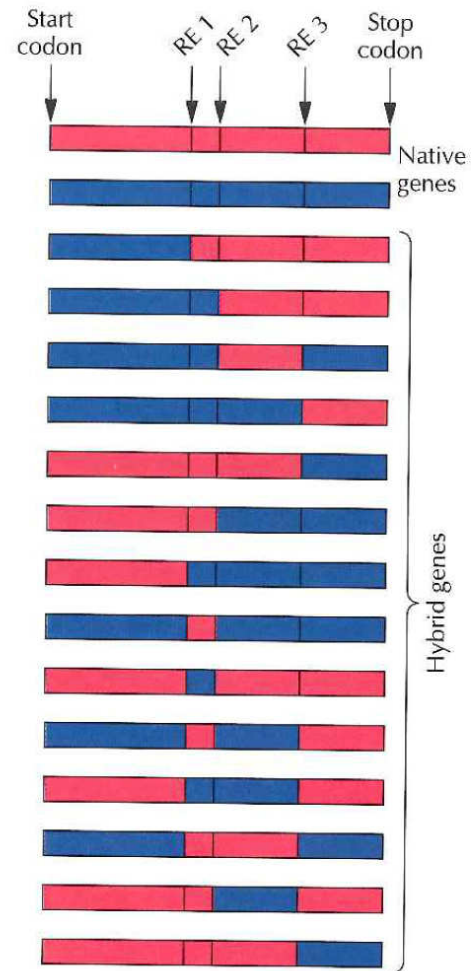


# Záměna helixu v represorovém proteinu mutagenezou *in vitro* (příklad kazetové mutagenéze)



Záměna aminokyselin  
v doméně represoru  
zodpovědné za roz-  
poznání operátoru P22

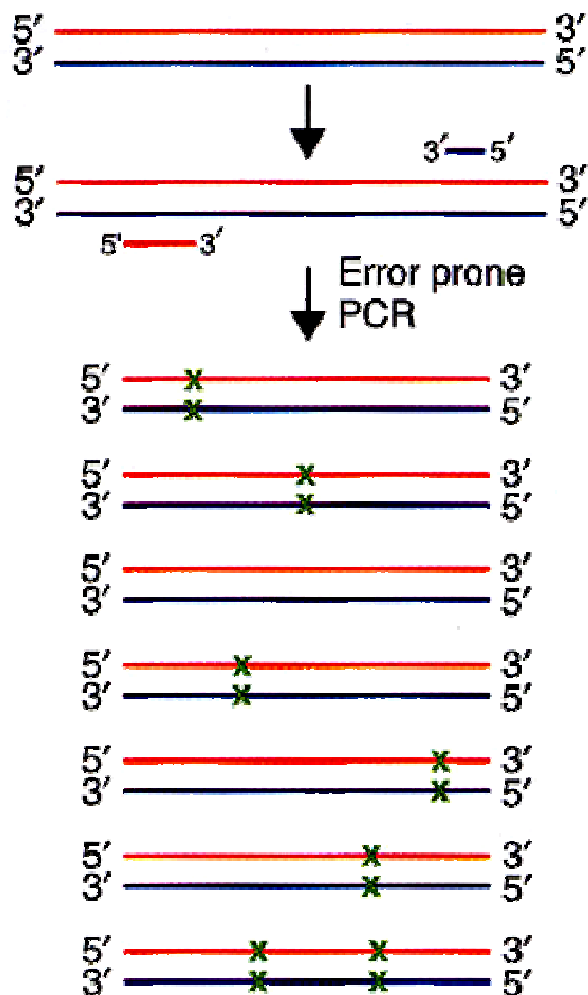
# Vytváření hybridních genů kombinací restričních fragmentů pocházejících ze dvou genů téže genové rodiny



# Výhody PCR

- jednoduché provedení
- možnost vytváření různého typu mutací
- není nutná následná selekce pro zvýšení proporce mutant
- nezávislost na RE místech
- není vždy nutné následné klonování mutovaného genu do vektoru (po PCR je možný přenos amplikonu do buněk transformací)

## Vytváření náhodných mutací - „error-prone“ PCR



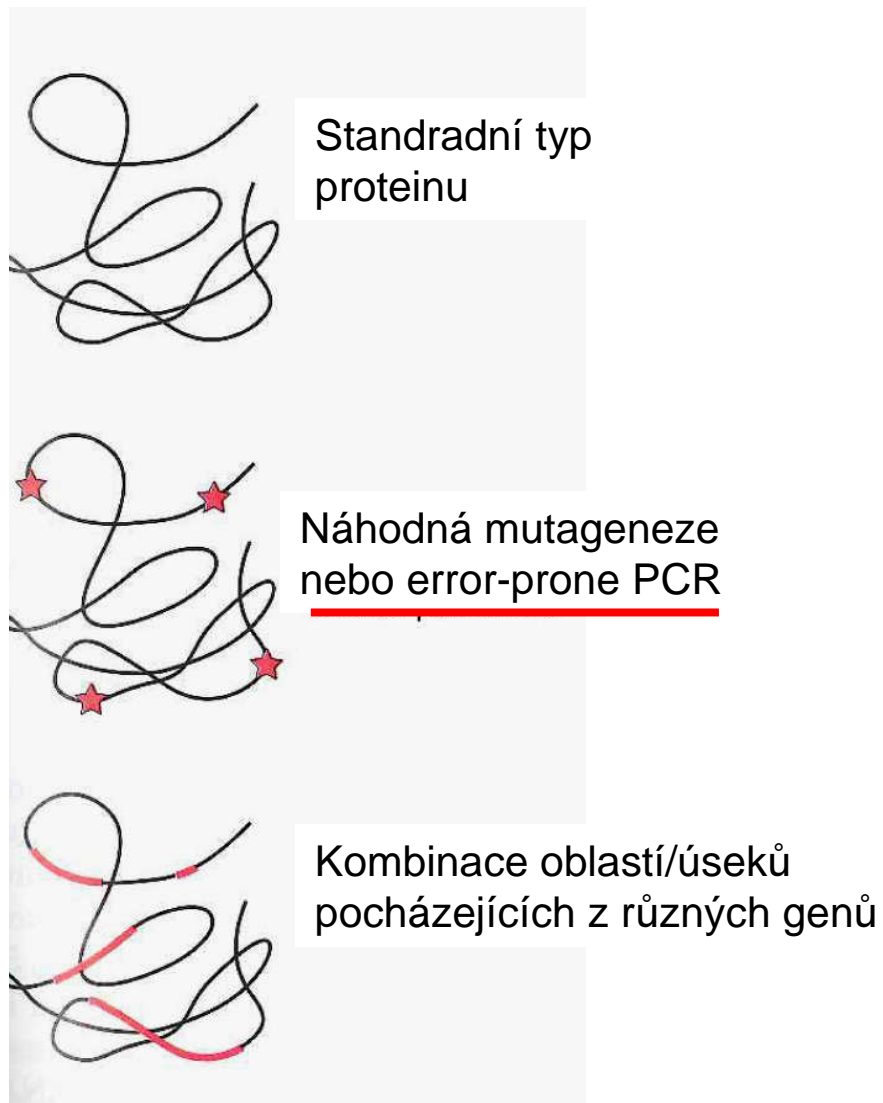
- využívají se DNA-polymerázy bez korektorské funkce (např. Taq-polymeráza) – ne High Fidelity PCR Enzymes
- reakční podmínky PCR lze změnit tak, aby se počet chyb zvýšil a aby každý amplifikační produkt obsahoval jednu mutaci (např. zvýšení  $Mg^{++}$  nebo přidání  $Mn^{++}$ , koncentrace reakčních složek atp)
- nevýhoda: převaha určitého typu mutace (např. transice, zatímco transverze nevznikají)



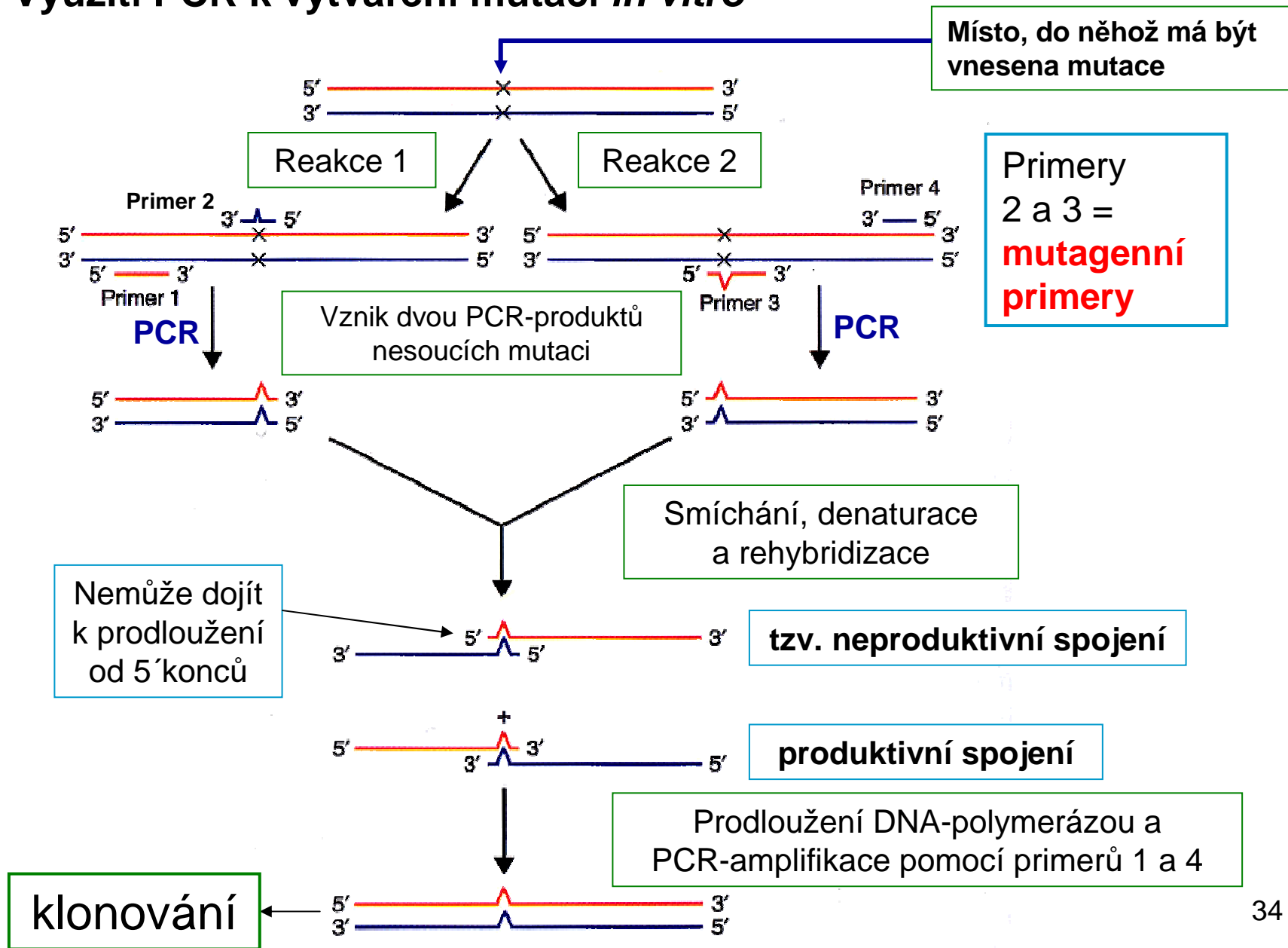
## Způsoby zavádění změn do proteinů

**Výsledek (např):**

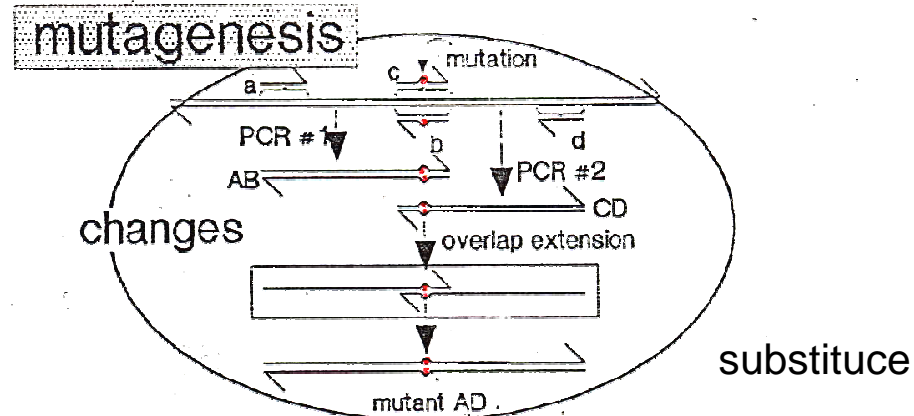
- vyšší aktivita
- termostabilita



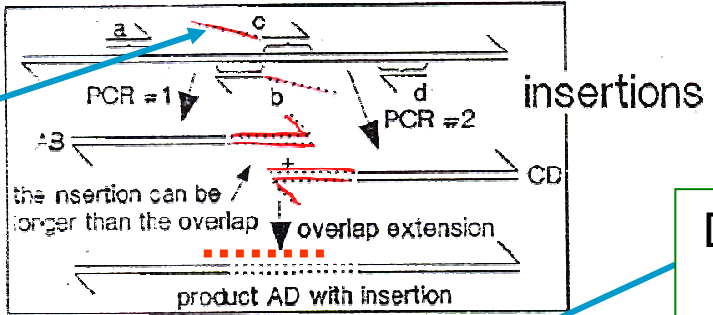
# Využití PCR k vytváření mutací *in vitro*



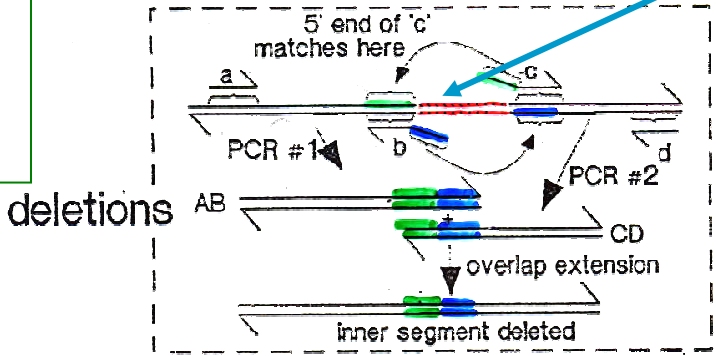
# Vnášení mutací pomocí PCR



Vložená sekvence  
(extenze primeru  
na jeho 5'konci)  
(extenze jsou  
vzájemně  
komplementární)

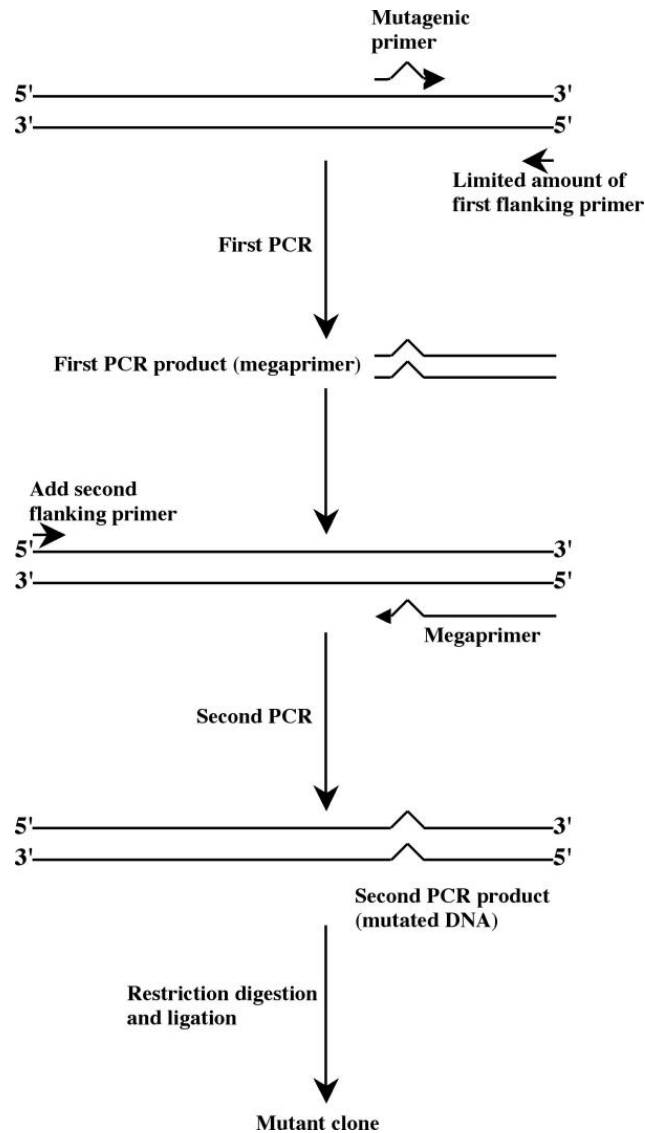


Deletovaná sekvence  
(extenze jsou  
komplementární k  
sekvenci vedle místa  
delece)



Amplifikace „produktivních“  
spojení pomocí primerů **a** a **d**

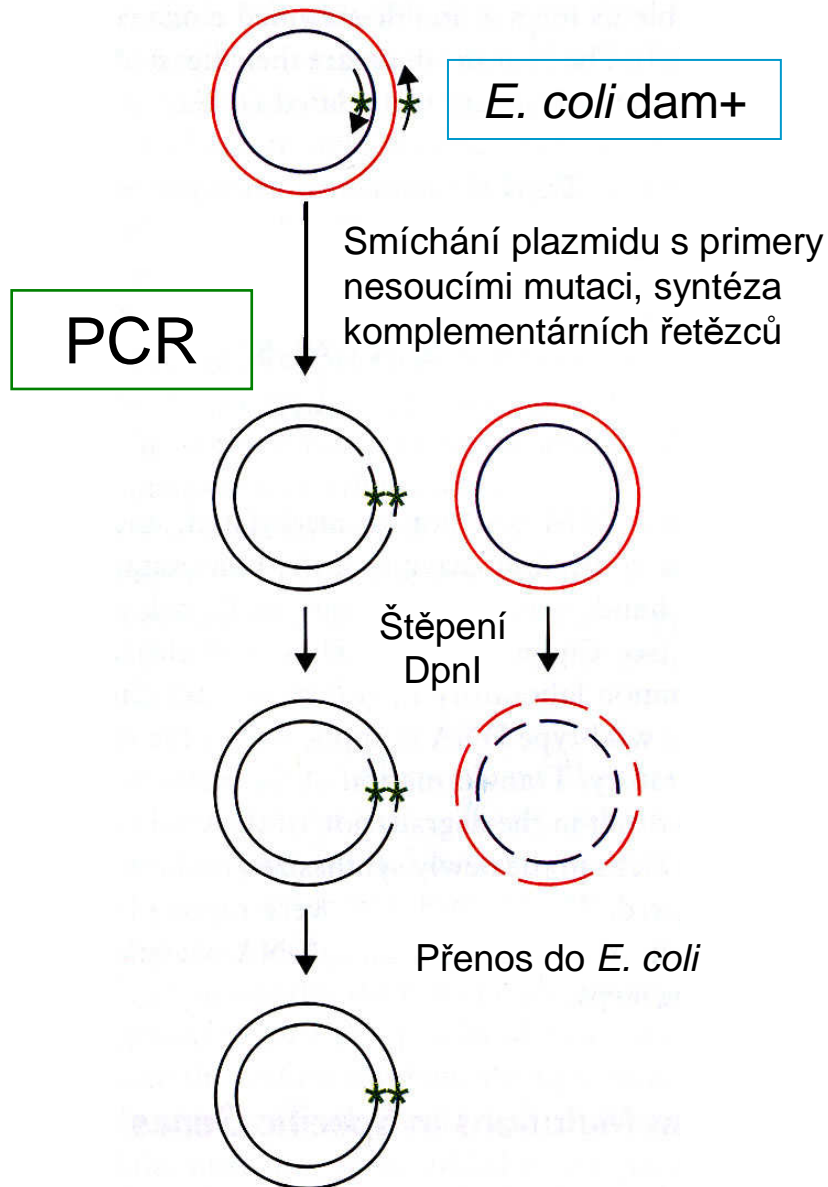
# PCR-mutageneze pomocí megaprimeru



**Obecně:** The strategies require two rounds of PCR amplification using two flanking primers and one internal mutagenic primer. In the first round of PCR, one of the flanking primers and the internal mutagenic primer (having desired base substitutions) are used to generate a megaprimer. The megaprimer is purified by gel electrophoresis and extraction before being used along with the other flanking primer in the second round of PCR to generate the complete DNA sequence with the desired mutation.

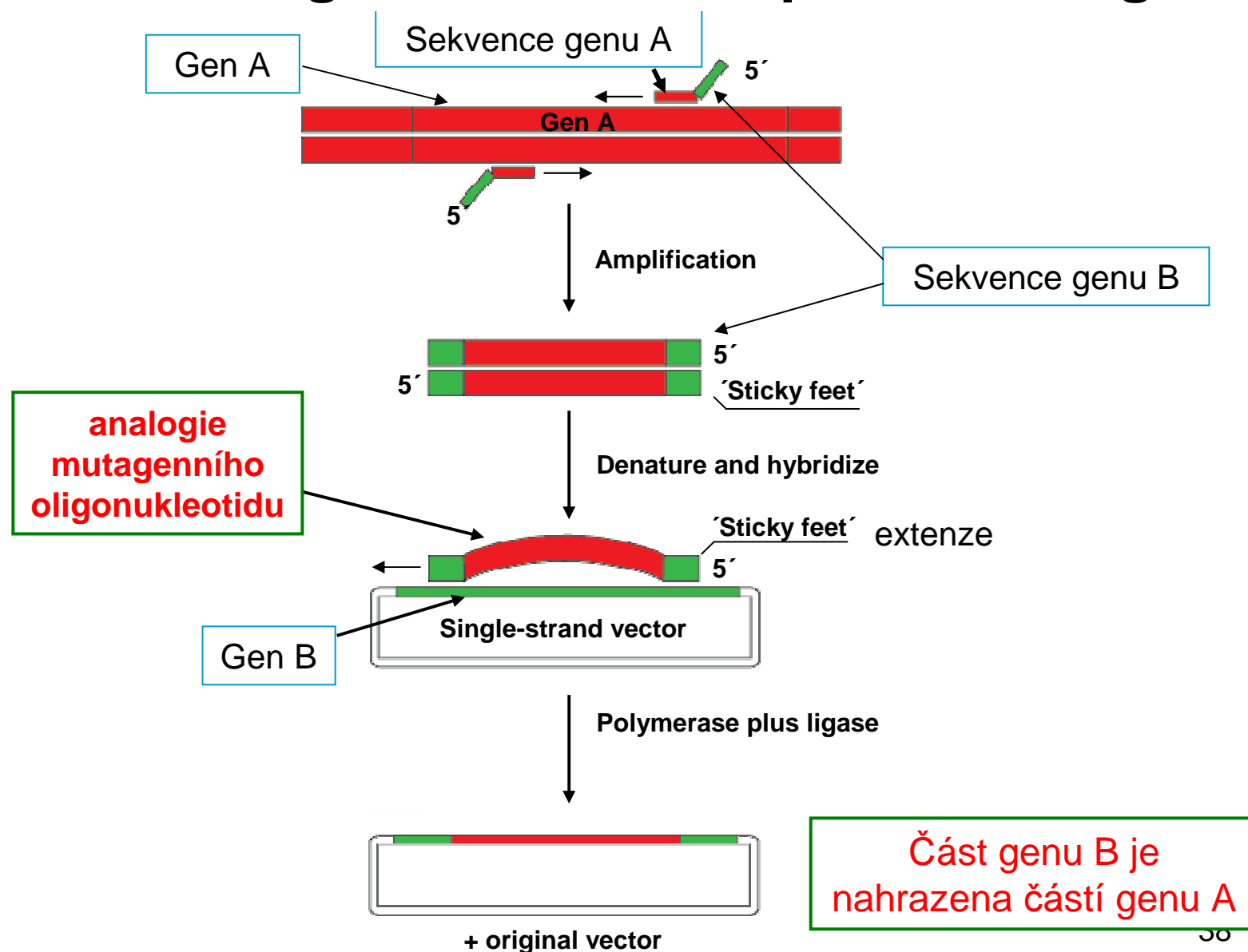
**Nová modifikace:** The first PCR (5 cycles) contains a limiting concentration of the first flanking primer and is followed by a prolonged extension step. The second flanking primer is then added and the entire mutated template is amplified by PCR (25 cycles). The second PCR product is digested with appropriate restriction endonucleases to give desired mutated fragment, which then can be ligated to the expression vector.

## Vytváření mutací *in vitro* přímo na plazmidech (QuickChange)

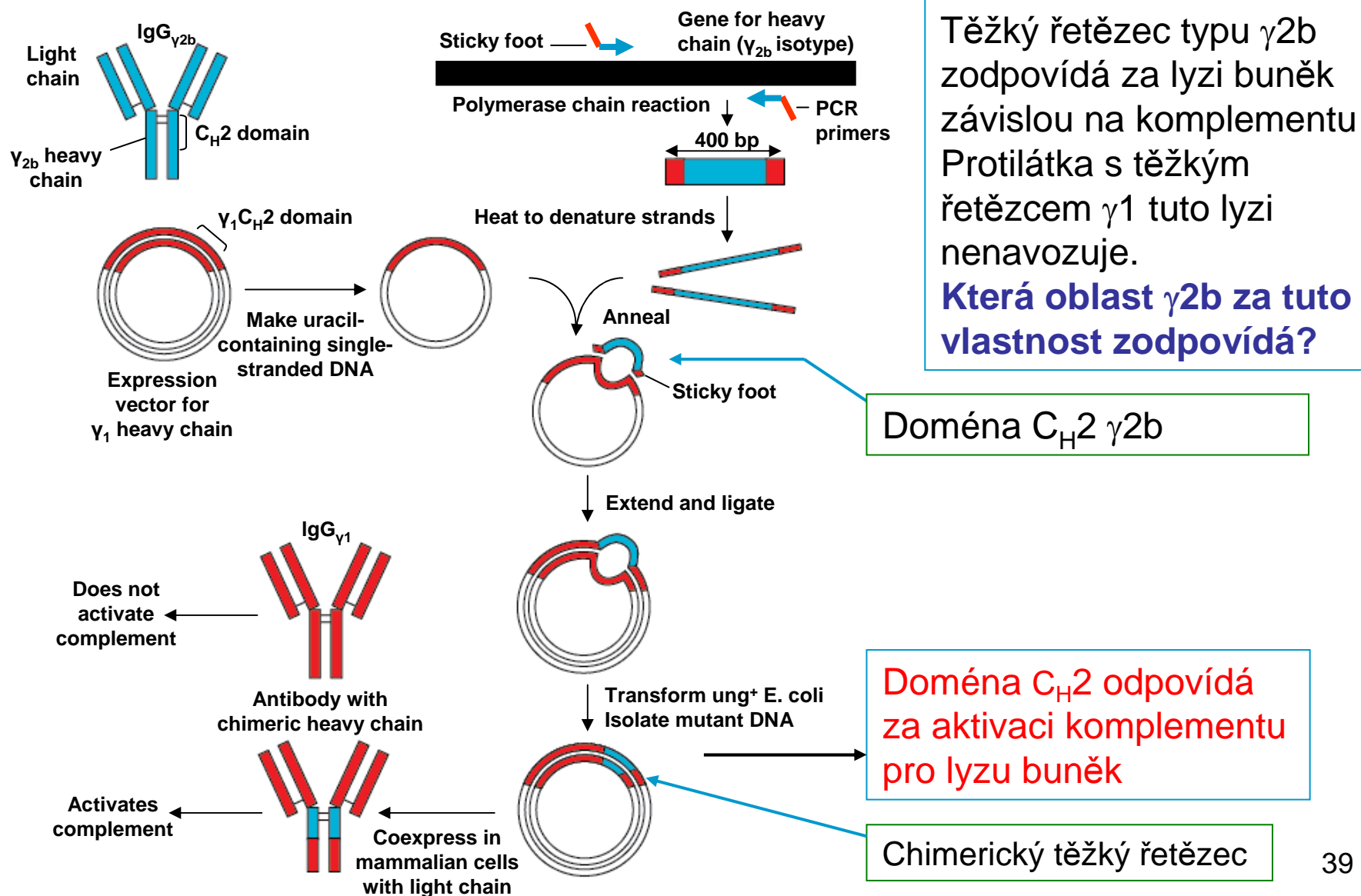


- jako templát je využita dsDNA plazmidu
- po proběhnutí PCR se vytvoří dva komplementární řetězce nesoucí mutaci ve stejném místě, které jsou schopny se párovat za vzniku kružnice s posunutými zlomy
- po proběhnutí PCR jsou produkty štěpeny DpnI, která je schopná štěpit jen metylovanou DNA
- rodičovské molekuly DNA jsou metylovány, neboť plazmidy byly izolovány z dam+ kmenů *E. coli* - proto jsou DpnI rozštěpeny (odstranění rodičovského templátu bez mutace).
- nově syntetizované molekuly nejsou metylovány a tudíž nejsou štěpeny
- po transformaci do *E. coli* dojde k reparaci zlomů a nově nasyntetizované plazmidy obsahující mutaci se replikují

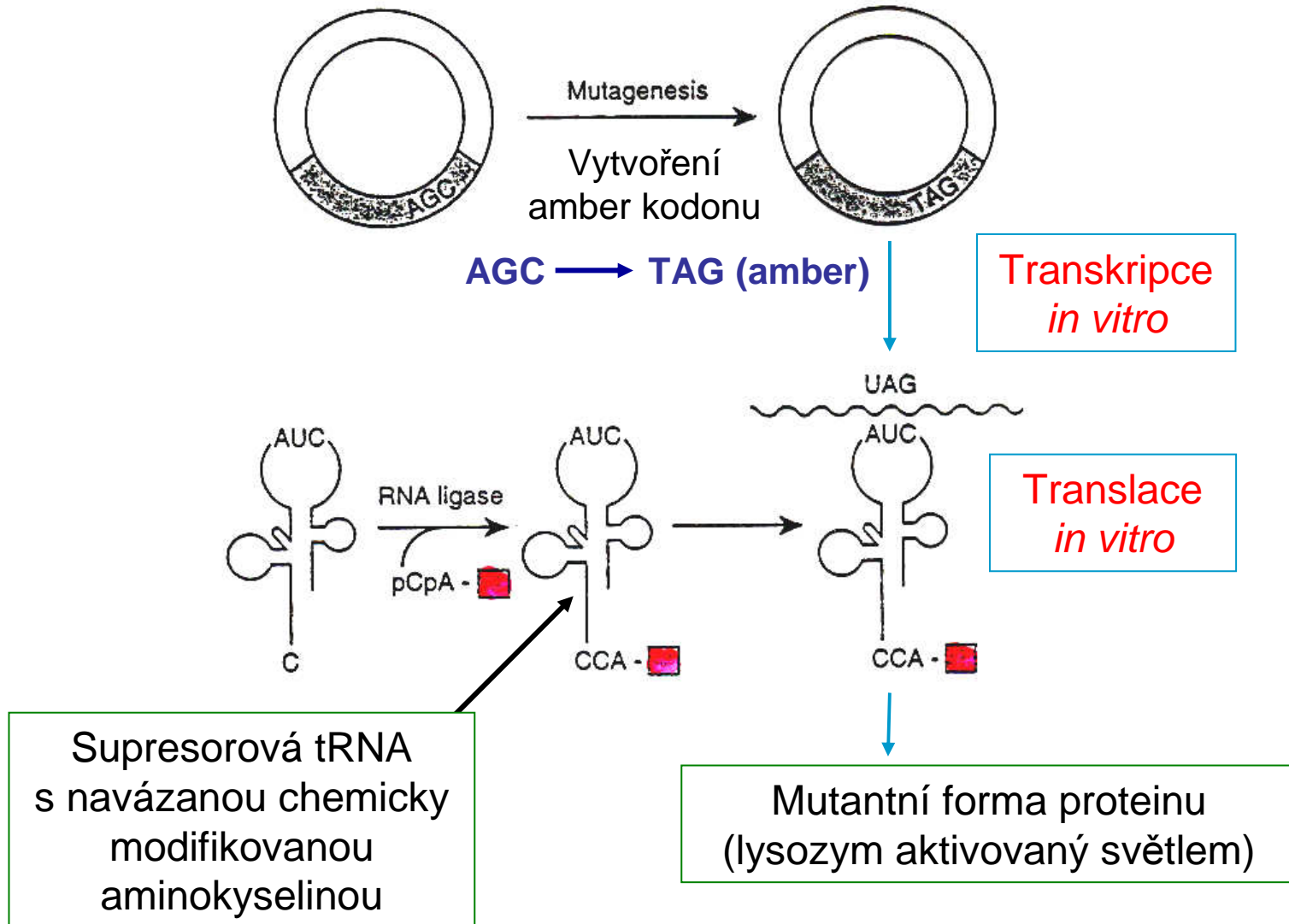
# Náhrada části genu sekvencí z příbuzného genu



# Konstrukce genu pro chimerickou protilátku



# Inzerce abnormálních aminokyselin do proteinu supresí amber mutace *in vitro* s využitím chemicky modifikovaných tRNA



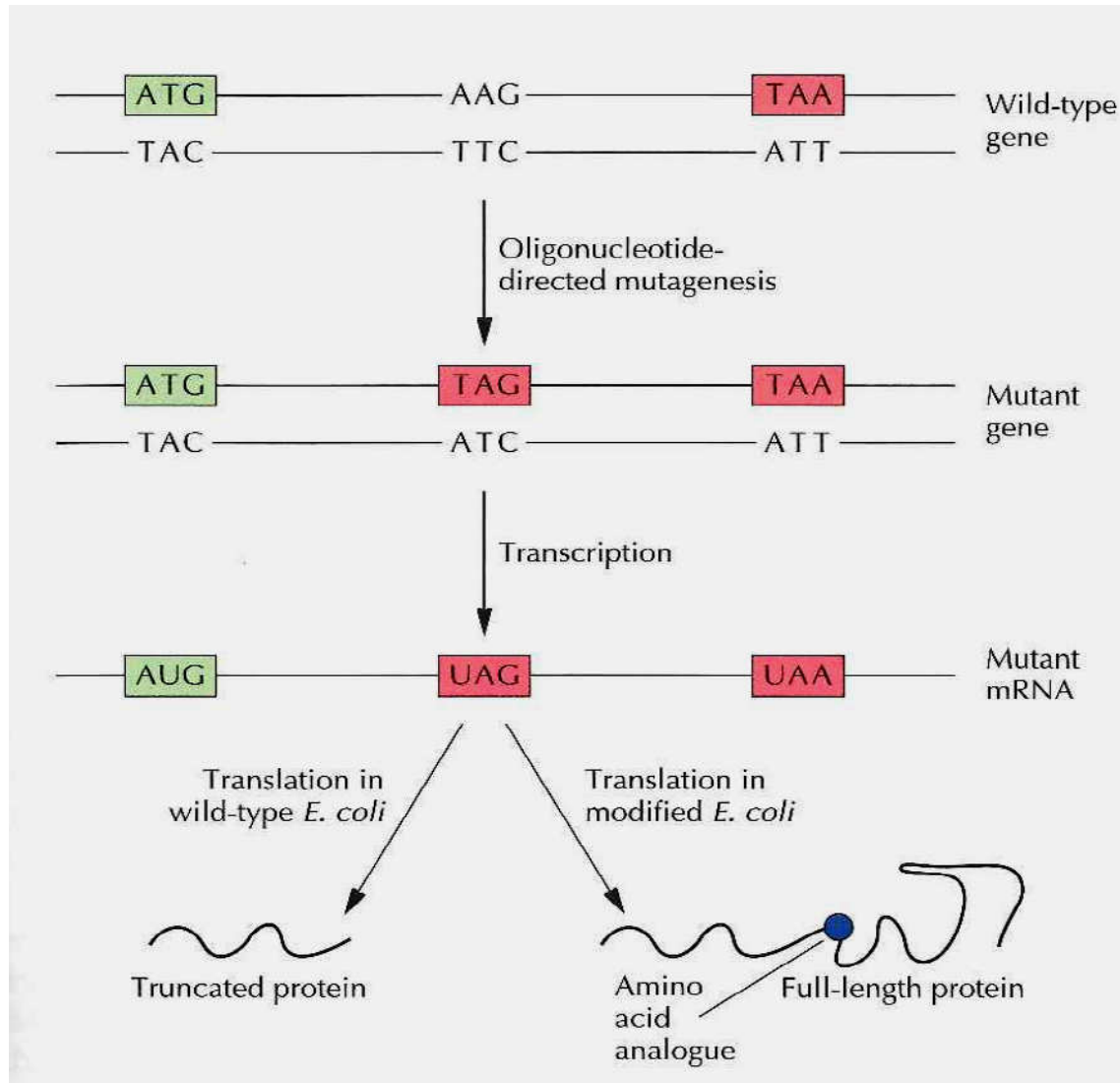


**Table 4.4 Nonsense Suppressors Employed to Generate Altered Proteins**

Suppressor	Codons recognized	Amino acid inserted	Efficiency (%)	References
<b>A. přirozené</b>				
Su1 ( <i>supD</i> )	UAG	Serine	6–54	a, b
Su2 ( <i>supE</i> )	UAG	Glutamine	0.8–20	a, b
Su2-89 ( <i>supE</i> )	UAG	Glutamine	32–60	c, h
Su3 ( <i>supF</i> )	UAG	Tyrosine	11–100	a, b
Su5 ( <i>supG</i> )	UAA, UAG	Lysine	0.2–2 6–30*	a, b, h h
Su6 ( <i>supP</i> )	UAG	Leucine	30–100	a, e
Su9	UGA	Tryptophan	0.1–30	a, f
<b>B. Uměle připravené</b>				
tRNA <sup>Phe</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Phenylalanine	48–100	g
tRNA <sup>GluA</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	85% Glutamic acid 15% Glutamine	8–100	h, i
tRNA <sup>Cys</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Cysteine	17–51	g
tRNA <sup>HisA</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Histidine	16–100	h, i
tRNA <sup>ProH</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Proline	9–60	h, i
tRNA <sup>Lys</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Lysine	9–29	h, i
tRNA <sup>Ala</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Alanine	8–83	h, i
tRNA <sup>Gly1</sup> <sub>CUA</sub>	UAG	Glycine	39–67	h, i
FTORI 26	UAG	Arginine	4–28 4–47*	j h

**Příklad: 160 variant genu pro lysozym s amber mutacemi na různých místech poskytlo v supresorových kmenech 2 000 variant lysozemu**

## Vytváření proteinů obsahujících nestandardní aminokyseliny v geneticky upravených kmenech *E. coli*



Kmen *E. coli* obsahuje geny z *Methanococcus jannaschii*:

1. Supresorovou tRNA, která se váže na amber kodon
2. Mutantní tyrozin-tRNA-syntetázu, která na tRNA váže místo tyrozinu O-metyl-L-tyrozin

Analogicky lze připravit kmeny, u kterých bude docházet k začleňování jinak modifikovaných aminokyselin

## RACIONÁLNÍ DESIGN

### 1. Počítačové modelování



### 2. Místně cílená mutageneze



Samostatný mutovaný gen

### 3. Transformace

### 4. Exprese proteinu

### 5. Purifikace proteinu

### 6. není aplikován



Zkonstruovaný mutantní enzym



**VYLEPŠENÝ  
ENZYM**

### 7. Biochemické testování

## ŘÍZENÁ EVOLUCE

### 1. není aplikováno

### 2. Náhodná mutageneze



Knihovna mutovaných genů  
( >10,000 klonů )

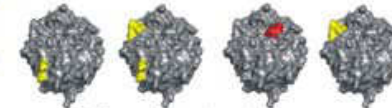
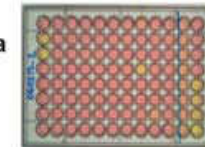
### 3. Transformace

### 4. Exprese proteinu

### 5. není aplikována

### 6. Screening a výběr

- stabilita
- selektivita
- afinita
- aktivita



Vybrané mutantní enzymy

Převzato: J. Damborský: Racionální design a řízená evoluce představují dva koncepčně rozdílné přístupy používané při konstrukci vylepšených enzymů metodami proteinového inženýrství.

