

Výhody a nevýhody klonování v *E. coli*

Výhody:

- detailně prostudovaný druh
- snadný přenos DNA
 - vysoká účinnost transformace
 - k dispozici jsou R⁻ mutanty
 - existuje řada expresních vektorů, s regulovatelnými promotory

Nevýhody:

- řadu cizorodých proteinů nevytváří ve funkční podobě
- postrádá vedlejší metabolické dráhy
- neexkretuje proteiny
- nepatří k tradičním průmyslovým mikroorganismům

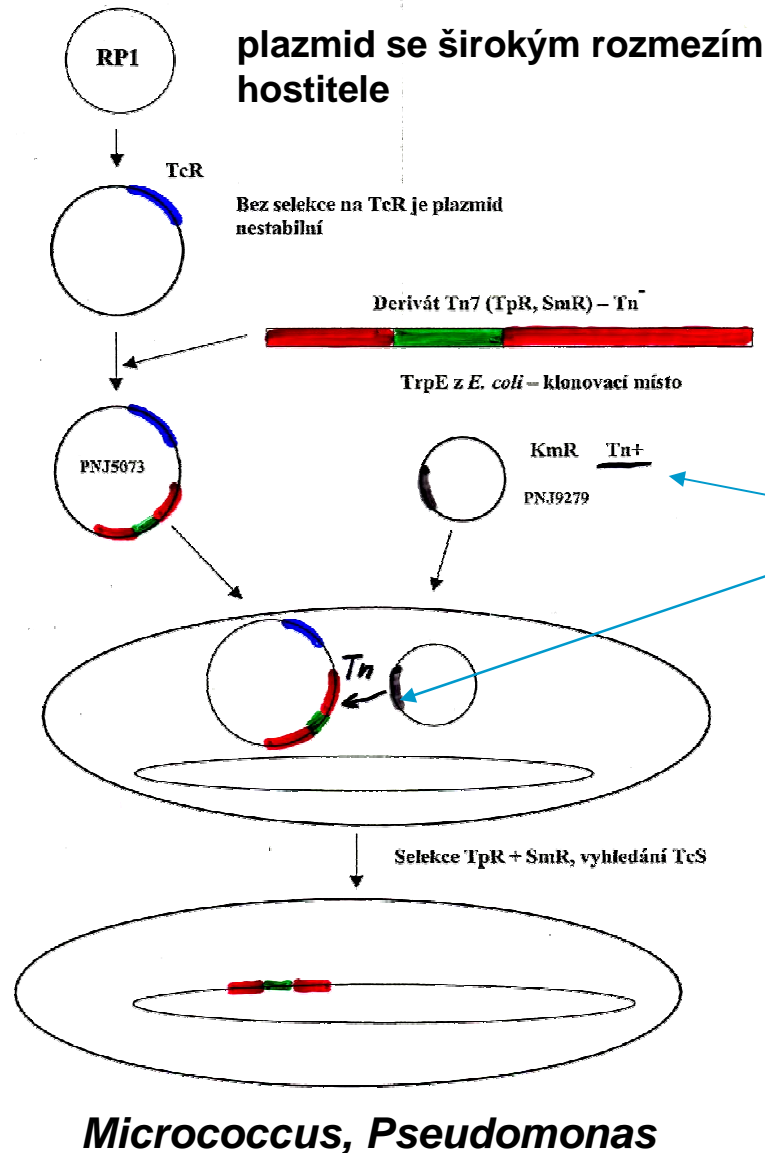
Poznatky z klonování v G- (jiných než E.coli) a G+ bakteriích

- nedostatek vhodných vektorů
- nízká účinnost přenosu DNA do buněk
- negativní vliv RM-systémů
- nízká exprese klonovaných genů i selekčních markerů
- nízký počet kopií vektorů, jejich nestabilita

Vhodné jsou vektory se širokým spektrem hostitelů: transpozony

- stabilní začlenění do chromozomu
- nezatěžují hostitele extrachromozomovou DNA (průmyslové kmeny)

Využití transpozonů jako vektorů s širokým rozmezím hostitele



Deriváty Tn7

- gen lacZ spojen s různými vektory (deriváty pUC - vysoký počet kopií)
- vnesení do buněk na sebevražedných vektorech (využití inkompatibility)

Pomocný plazmid = Zdroj transponázy

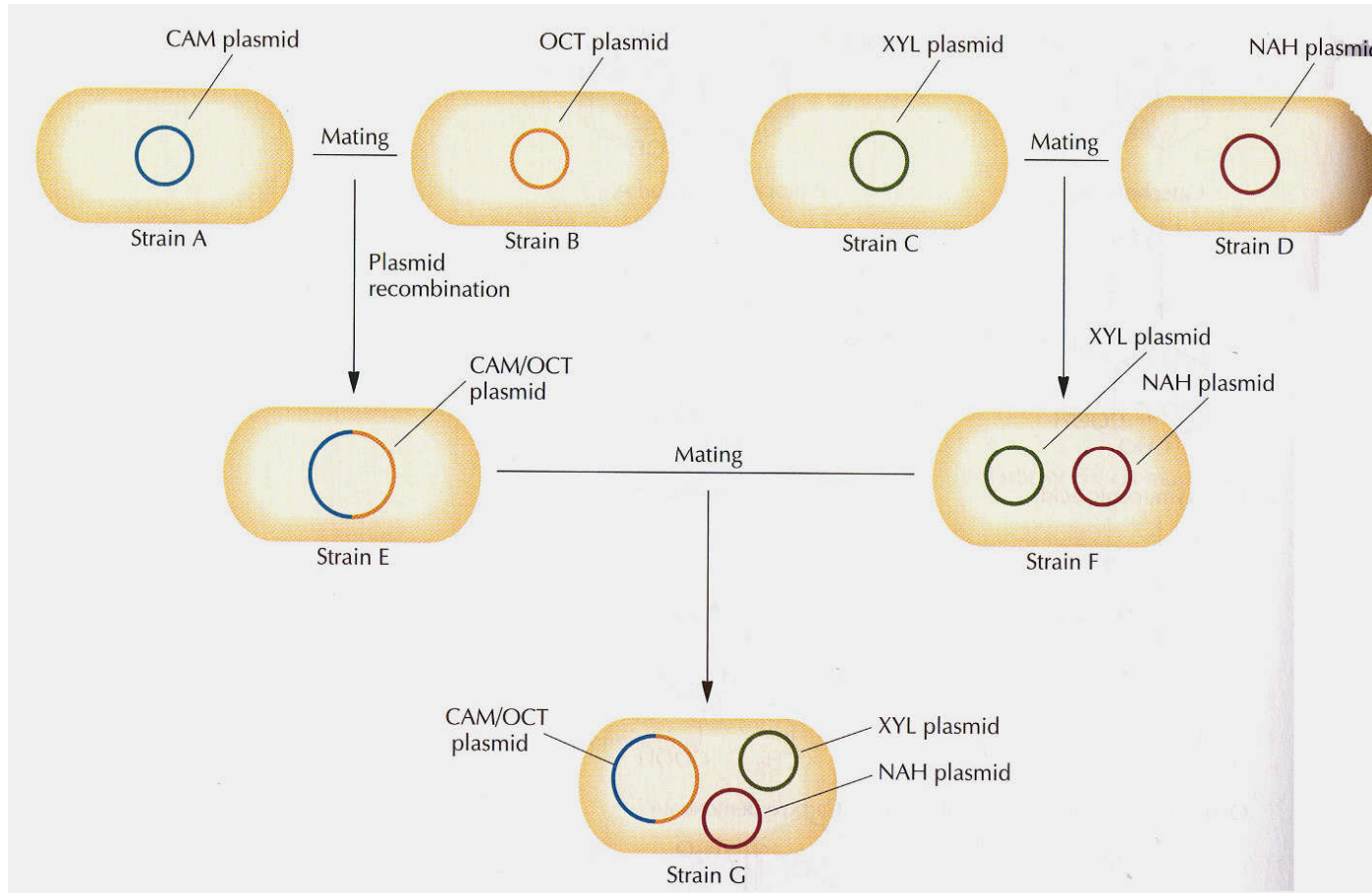
Stabilní začlenění do chromozomu, následné vnášení nových genů do genu trpE

Produkční kmeny

Plazmidy *Pseudomonas* s degradačními vlastnostmi

Name of plasmid	Compound(s) degraded	Plasmid size (kb)
SAL	Salicylate	60
SAL	Salicylate	72
SAL	Salicylate	83
TOL	Xylene and toluene	113
pJP1	2,4-D	87
pJP2	2,4-D Dichlorofenoxyoctová kyselina	54
pJB3	2,4-D	78
CAM	Camphor	225
XYL	Xylene	15
pAC31	3,5-Dichlorobenzoate	108
pAC25	3-Chlorobenzoate	102
pWWO	Xylene and toluene	176
NAH	Naphthalene	69
XYL-K	Xylene and toluene	135

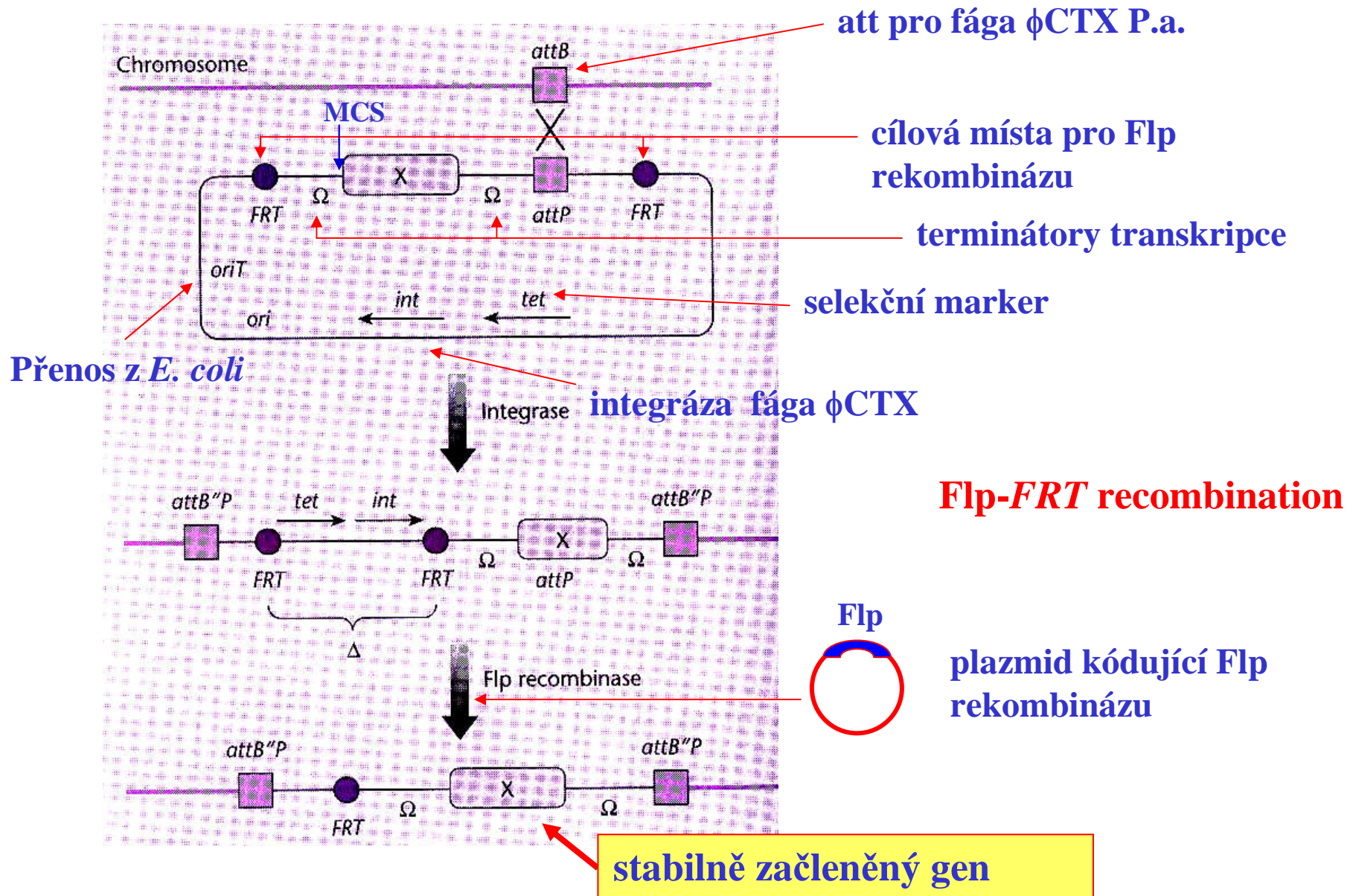
Vývoj bakteriálního kmene s několika degradačními aktivitami



CAM – kafr, OCT – octan, XYL – xylen, NAH - naftalen

První patent udělený v USA GMO-mikroorganismu

Použití integračních vektorů pro vnášení genů do chromozomu u *Pseudomonas aeruginosa*



Výhody klonování genů v *Bacillus* spp.

- produkují velká kvanta extracelulárních enzymů, které lze snadno izolovat z media
- lze je snadno kultivovat a adaptovat na řadu podmínek kultivace
- lze připravit celou řadu mutantů, hyperprodukcí enzymů a jiné látky
- jsou nepatogenní pro vyšší organismy
- jsou modelem diferenciací prokaryotických buněk

Itahiki-natto - národní potrava v Japonsku, fermentované sojové boby.



Natto je tradiční japonská potravina, fermentovaná sója, která se používá v japonské kuchyni, ale i v tradiční medicíně. Má charakteristický, velmi nepříjemný zápach, způsobený přítomností vitamínu K2. Japonci se dožívají velmi vysokého věku, což je částečně připisováno i vysoké spotřebě sojových produktů a hlavně "natto". Využívá se přitom její jednoznačný trombolitický účinek.

Mezi nejúčinnější komponenty "natto" patří fibrinolytický enzym "natokináza". Snižuje viskozitu krve a tím zabraňuje zpomalení toku krve a možnosti vytvoření trombu. Jeho antikoagulačně-fibrinolytický účinek je velmi vyrovnaný a zabraňuje možnosti nadměrného rozpouštění fibrínu.

Kdy Natto NKCP pomáhá:

při nutnosti zvýšit prokrvování mozkových cév,

při potřebě zvýšit přítok krve v srdečních cévách, je prevencí infarktu,

je součástí prevence vzniku trombóz v těhotenství, po operaci, při onkologických onemocněních, při cukrovce, při užívání antikoncepce apod.,

při problémech v oblasti dolních končetin (potrombotické stavy, bércové vředy, otoky, zvýšená pigmentace, nedokrvování končetin),

je prevencí tzv. economy class syndromu (trombózy v průběhu dlouhých a častých letů letadlem),

při arterioskleróze,

při osteoporóze

Příklady látek připravovaných v druzích r. *Bacillus*

B. amyloliquefaciens - 90% průmyslově vyráběných enzymů

- alfa-amyláza, celuláza
- dextranáza, maltáza, pektátlyáza
- esteráza, alkalická fosfatáza
- proteázy (subtilizin)
- lysozym
- pektináza

***B. thuringiensis*: δ -toxin**

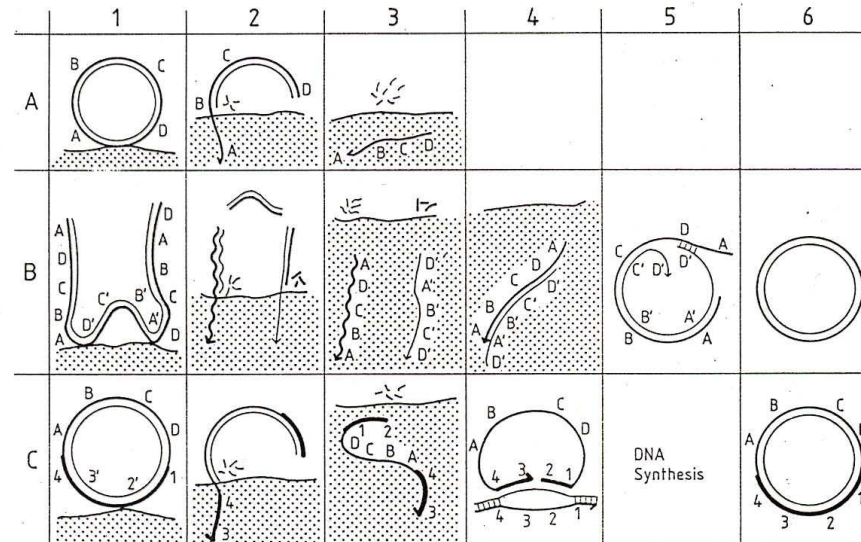
Cizorodé látky

- interferon (myší, lidský)
- proinzulin

Možnosti přenosu DNA do *B. subtilis*

1. Transformace kompetentních buněk
2. Transformace plazmidovým vektorem nesoucím homologní sekvenční („plasmid rescue“)
3. **Transformace protoplastů**

Transformace kompetentních buněk *B. subtilis* plazmidovou DNA (CCC forma)



- A. Monomerní heterologní plazmidová DNA
- B. Oligomerní plazmidová DNA
- C. Monomerní plazmidová DNA s částečnou homologií k chromozomové DNA *B. subtilis*. Oblasti homologie jsou znázorněny tučně.

Table 12.2 Comparison of the different methods of transforming *B. subtilis*

System	Efficiency (transformants/ μg DNA)	Advantages	Disadvantages	
Competent cells	Unfractionated plasmid	2×10^4	Competent cells readily prepared. Transformants can be selected readily on any medium. Recipient can be Rec^- .	Requires plasmid oligomers or internally duplicated plasmids which makes shotgun experiments difficult unless high DNA concentrations and high vector/donor DNA ratios are used. Not possible to use phosphatase-treated vector
	Linear	0		
	CCC monomer	4×10^4		
	CCC dimer	8×10^3		
	CCC multimer	2.6×10^5		
Plasmid rescue	Unfractionated plasmid	2×10^6	Oligomers not required. Can transform with linear DNA. Transformants can be selected on any medium	Transformants contain resident plasmid and incoming plasmid and these have to be separated by segregation or retransformation. Recipient must be Rec^+
Protoplasts	Unfractionated plasmid	3.8×10^6	Most efficient system. Gives up to 80% transformants. Does not require competent cells. Can transform with linear DNA and can use phosphatase-treated vector	Efficiency lower with molecules which have been cut and re-ligated. Efficiency also very size-dependent, and declines steeply as size increases
	Linear	2×10^4		
	CCC monomer	3×10^6		
	CCC dimer	2×10^6		
	CCC multimer	2×10^6		

Hlavní výhoda: účinný přenos monomerních plazmidových molekul, nezávislý na rekombinaci – DNA je přijímána jako dsDNA

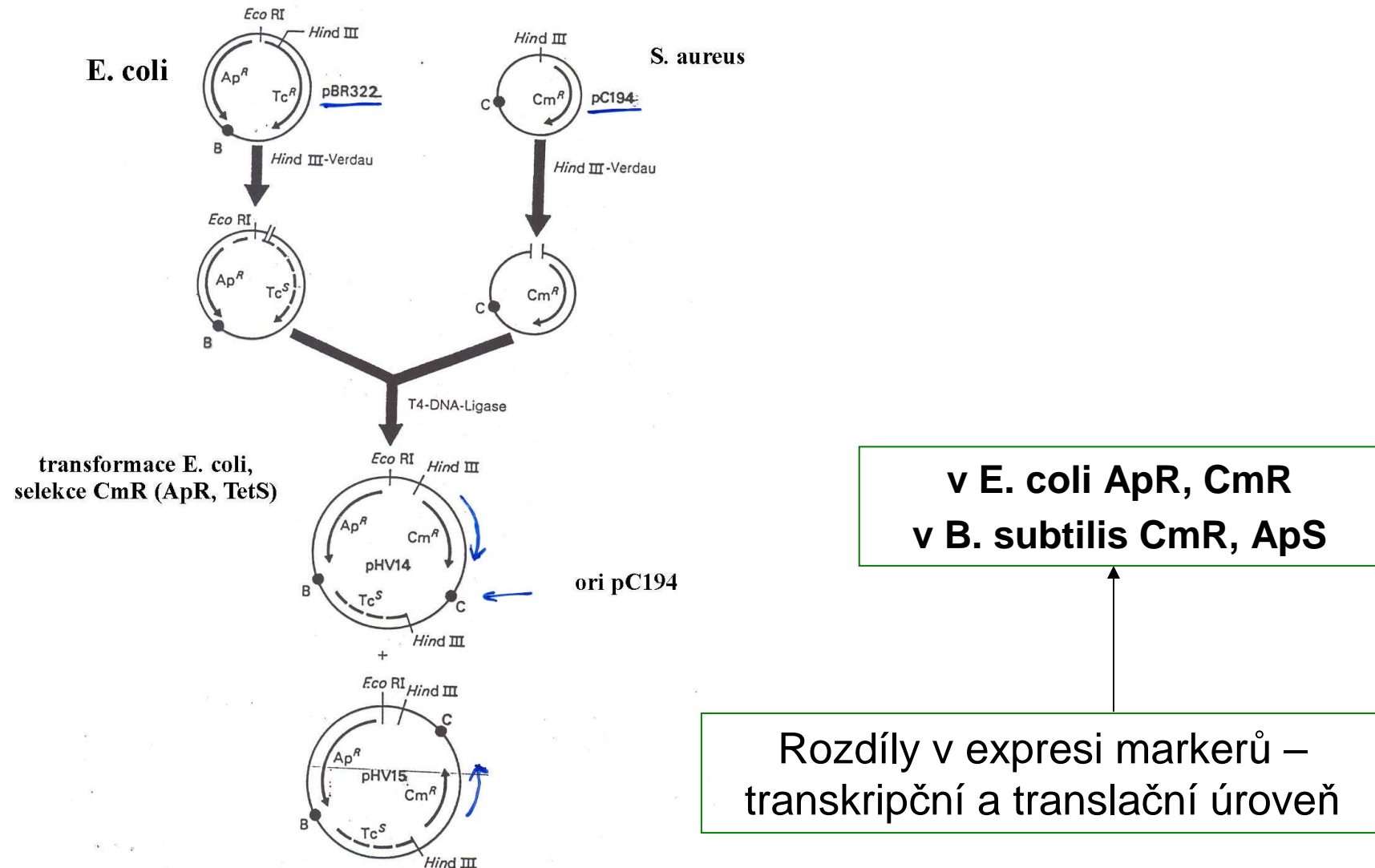
Plazmidy *r. Bacillus*:

- kryptické
- značně veliké, nevhodné pro konstrukci vektorů
- chybí vhodné selekční markery

Plazmidy <i>S.aureus</i> vhodné pro transformaci <i>B. subtilis</i>			
Plasmid	Fenotyp hostitelské buňky	Velikost	
pC194	Chloramphenicol-Resistenz	$1,8 \cdot 10^6$	Počet kopií 20-50
pE194	Erythromycin-Resistenz	$2,3 \cdot 10^6$	
pSA0501	Streptomycin-Resistenz	$2,7 \cdot 10^6$	
pUB110	Kanamycin-Resistenz	$3,0 \cdot 10^6$	
pT127	Tetracyclin-Resistenz	$2,9 \cdot 10^6$	

Izolace plazmidových mutant se zvýšeným počtem kopií (800-1000)

Konstrukce pendlujících vektorů pHV14 a pHV15



Chimerické pendující vektory pro klonování v *B. subtilis*

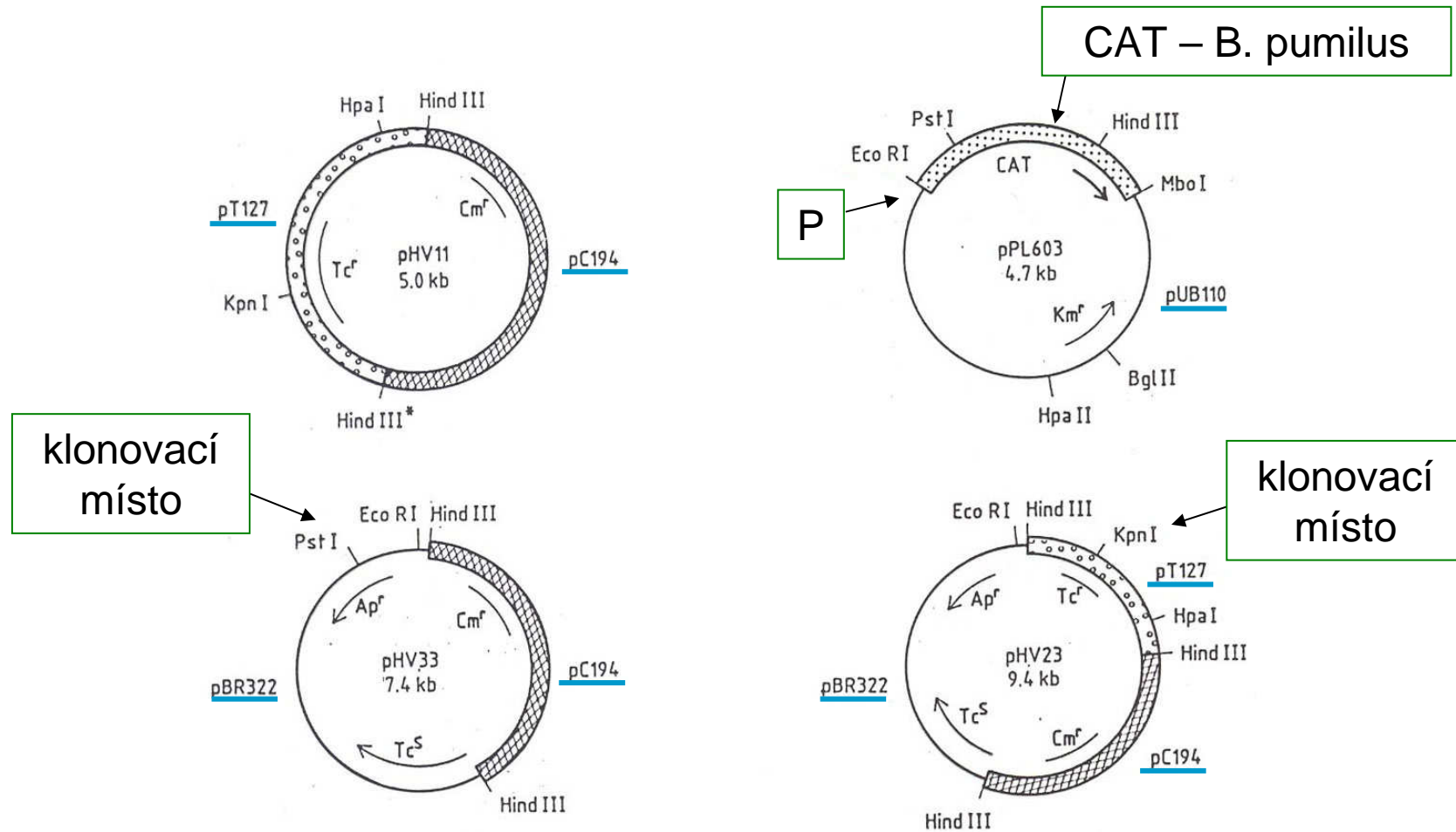
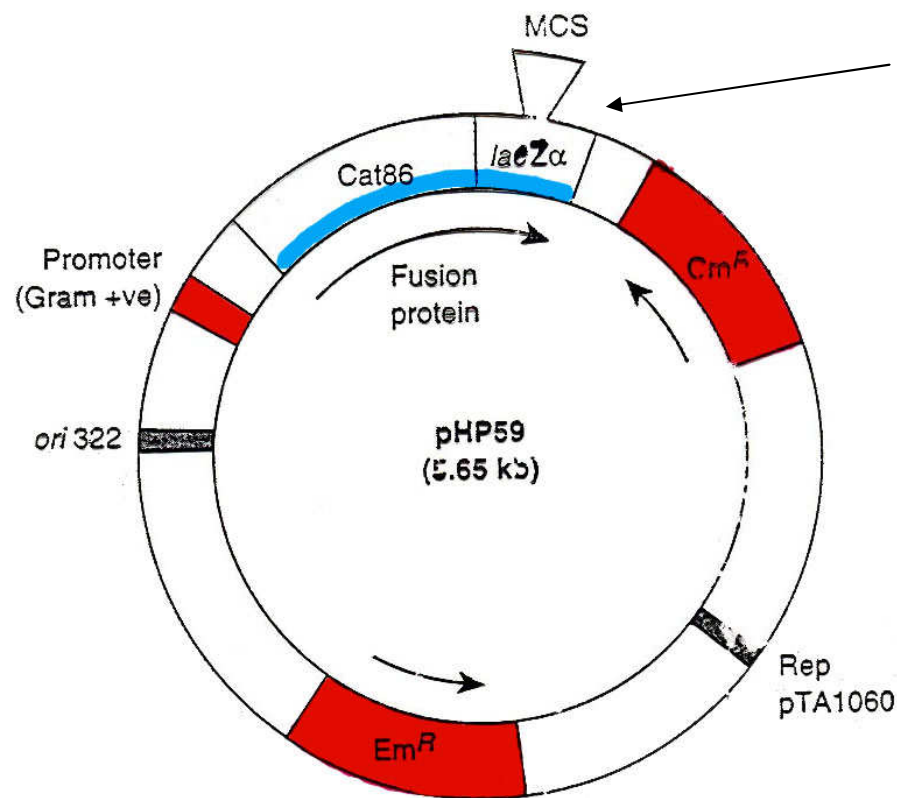


Table 12.4 *B. subtilis* – *E. coli* kyvadlové (shuttle) plasmidy

Plasmid	Size (kbp)	Replicon		Markers		Comments
		<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>E. coli</i>	<i>B. subtilis</i>	
pHV14	4.6	pBR322	pC194	Ap,Cm	Cm	pBR322/pC194 fusion. Sites: <i>Pst</i> I, <i>Bam</i> HI, <i>Sal</i> I, <i>Nco</i> I (Ehrlich 1978)
pHV15	4.6	pBR322	pC194	Ap,Cm	Cm	pHV14, reversed orientation of pC194 relative to pBR322
pHV33	4.6	pBR322	pC194	Ap,Tc,Cm	Cm	Revertant of pHV14 (Primrose & Ehrlich 1981)
pEB10	8.9	pBR322	pUB110	Ap,Km	Km	pBR322/pUB110 fusion (Bron <i>et al.</i> 1988)
pLB5	5.8	pBR322	pUB110	Ap,Cm,Km	Cm,Km	Deletion of pBR322/pUB110 fusion, <i>Cm^R</i> gene of pC194 Segregationally unstable (Bron & Luxen 1985). Sites: <i>Bam</i> HI, <i>Eco</i> RI, <i>Bq</i> III (in <i>Km^R</i> gene), <i>Nco</i> I (in <i>Cm^R</i> gene)
pHP3	4.8	pBR322	pTA1060	Em,Cm	Em,Cm	Segregationally stable pTA1060 replicon (Peeters <i>et al.</i> 1988). Copy number, ca. 5. Sites: <i>Nco</i> I (<i>Cm^R</i> gene), <i>Bcl</i> I and <i>Hpa</i> I (both <i>Em^R</i> gene)
pHP3Ff	5.3	pBR322	pTA1060	Em,Cm	Em,Cm	Like pHP3; phage f1 replication origin and packaging signal
pGPA14	5.8	pBR322	pTA1060	Em	Em	Stable pTA1060 replicon. Copy number, ca. 5. α -Amylase-based selection vector for protein export functions (Smith <i>et al.</i> 1987). MCS of M13mp11 in <i>lacZα</i>
pGPB14	5.7	pBR322	pTA1060	Em	Em	As pGPA14, probe gene TEM- β -lactamase
pHP13	4.9	pBR322	pTA1060	Em,Cm	Em,Cm	Stable pTA1060 replicon. Copy number, ca. 5. Efficient (shotgun) cloning vector (Haima <i>et al.</i> 1987). MCS of M13mp9 in <i>lacZα</i> <i>LacZα</i> not expressed in <i>B. subtilis</i> . Additional sites: <i>Bcl</i> I and <i>Hpa</i> I (both <i>Em^R</i> gene)
pHV1431	10.9	pBR322	pAM β 1	Ap,Tc,Cm	Cm	Efficient cloning vector based on segregationally stable pAM β 1 (Janni \grave{e} re <i>et al.</i> 1990). Copy number, ca. 200. Sites: <i>Bam</i> HI, <i>Sal</i> I, <i>Pst</i> I, <i>Nco</i> I. Structurally unstable in <i>E. coli</i>
pHV1432	8.8	pBR322	pAM β 1	Ap,Tc,Cm	Cm	pHV1431 lacking stability fragment orfH. Structurally stable in <i>E. coli</i>
pHV1436	8.2	pBR322	pTB19	Ap,Tc,Cm	Cm	Low-copy-number cloning vector (Janni \grave{e} re <i>et al.</i> 1990) Structurally stable

- Problémy:**
1. Nestabilita plazmidů (segregační a strukturní)
 2. Restrikce exogenní DNA

Struktura vektoru pro přímou selekci v *B. subtilis*



Translační fúze CAT
z *B. pumilis* a lacZ z *E. coli*

Selekce = CmR, EryR

Recipient: *B. subtilis* 6GM15 – obsahuje lacZD15 napojený na G+, promotor + signály pro iniciaci translace

Faktory ovlivňující expresi klonovaných genů v *B. subtilis*

- **transkripce:** značný počet sigma-faktorů rozpoznávajících různé promotory
- **translace:**
 - vyšší stupeň konzervovanosti oblastí mRNA vázajících se na ribozomy,
 - odlišnost iniciačního kodonu (UUG n. GUG namísto AUG, aj),
 - odlišné ribozomové proteiny zajišťující vazbu mRNA (nastavení SD- AUG na 30S)
 - odlišné využívání kodonů
- **transport:** signální sekvence (stejná funkce jako u *E. coli*)

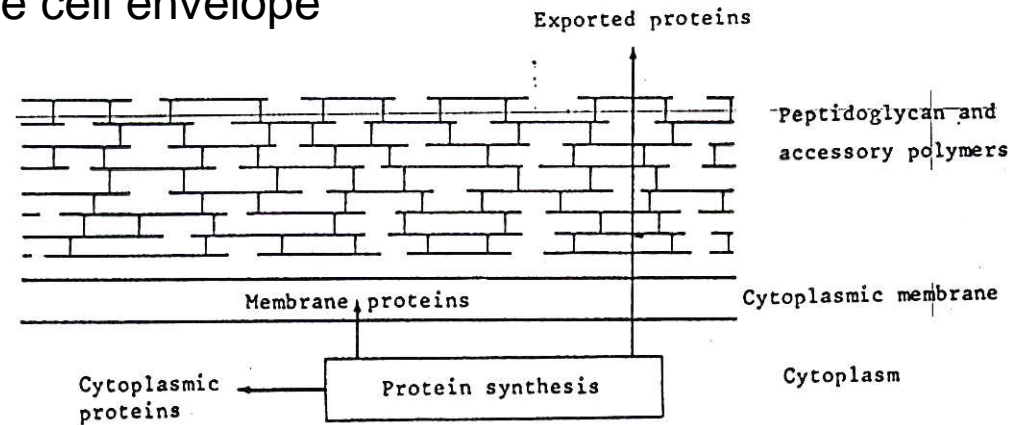
Degradace proteinů vlivem silné proteolytické aktivity

- nutnost používat indukovatelné promotory: CAT
- snížení rozkladu přípravou proteáza-deficientních mutant (odstranění 6 exoproteáz: prodloužení poločasu rozpadu z 1,5 na 85 hodin)

Lokalizace proteinů u G+ a G- bakterií

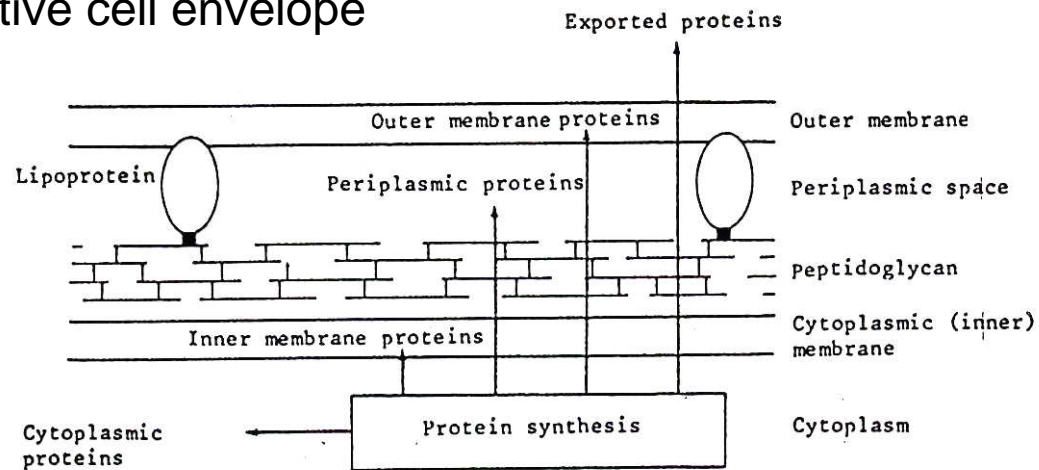
a) Gram-positive cell envelope

G+



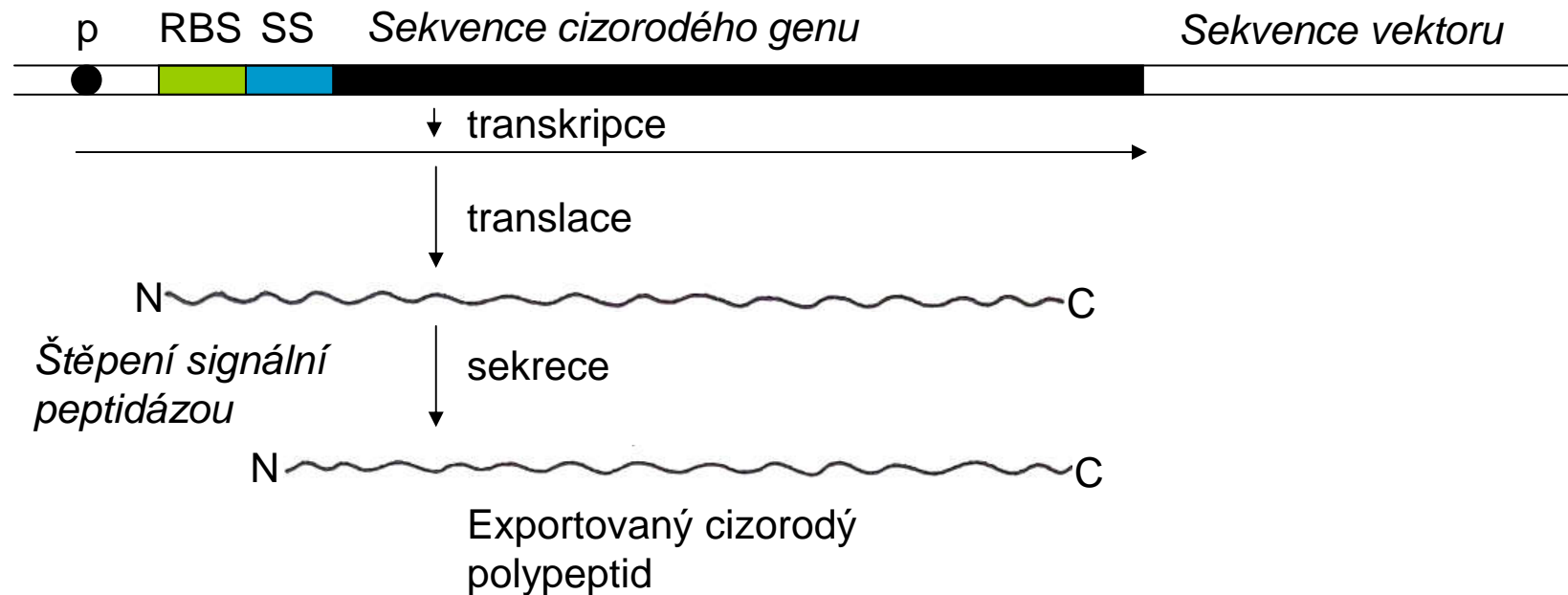
b) Gram-negative cell envelope

G-



Expres cizorodých genů v *B. subtilis* s využitím sekrečního vektoru

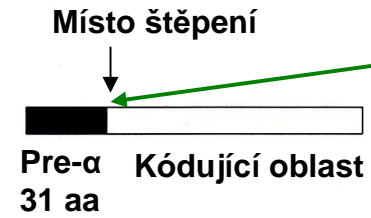
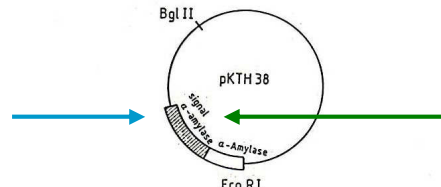
SS = signální sekvence alfa-amyláza z *B. amyloliquefaciens*



Signální sekvence u *Bacillus* jsou delší než u G- bakterií a eukaryot

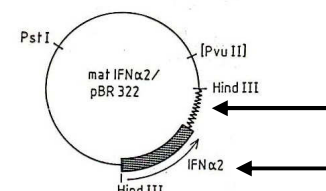
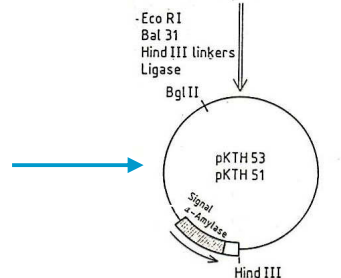
Konstrukce plazmidového vektoru pro sekreci interferonu

Signální sekvence alfa-amylázy včetně promotoru



Odštěpení signální sekvence alfa-amylázy probíhá přesně za 31 aa Pre-α

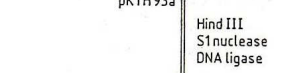
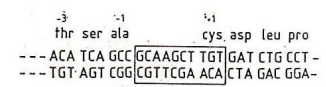
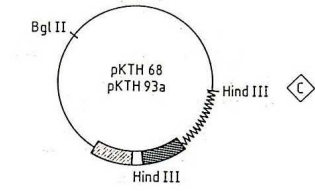
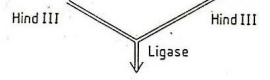
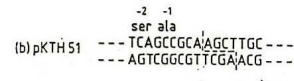
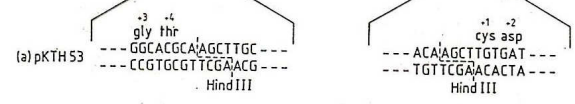
Zkrácení kódující oblasti alfa-amylázy



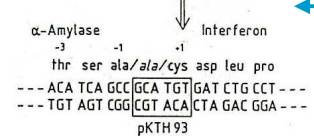
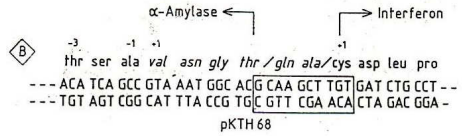
Plazmid nesoucí gen pro zralý IFNα2

Nekódující sekvence

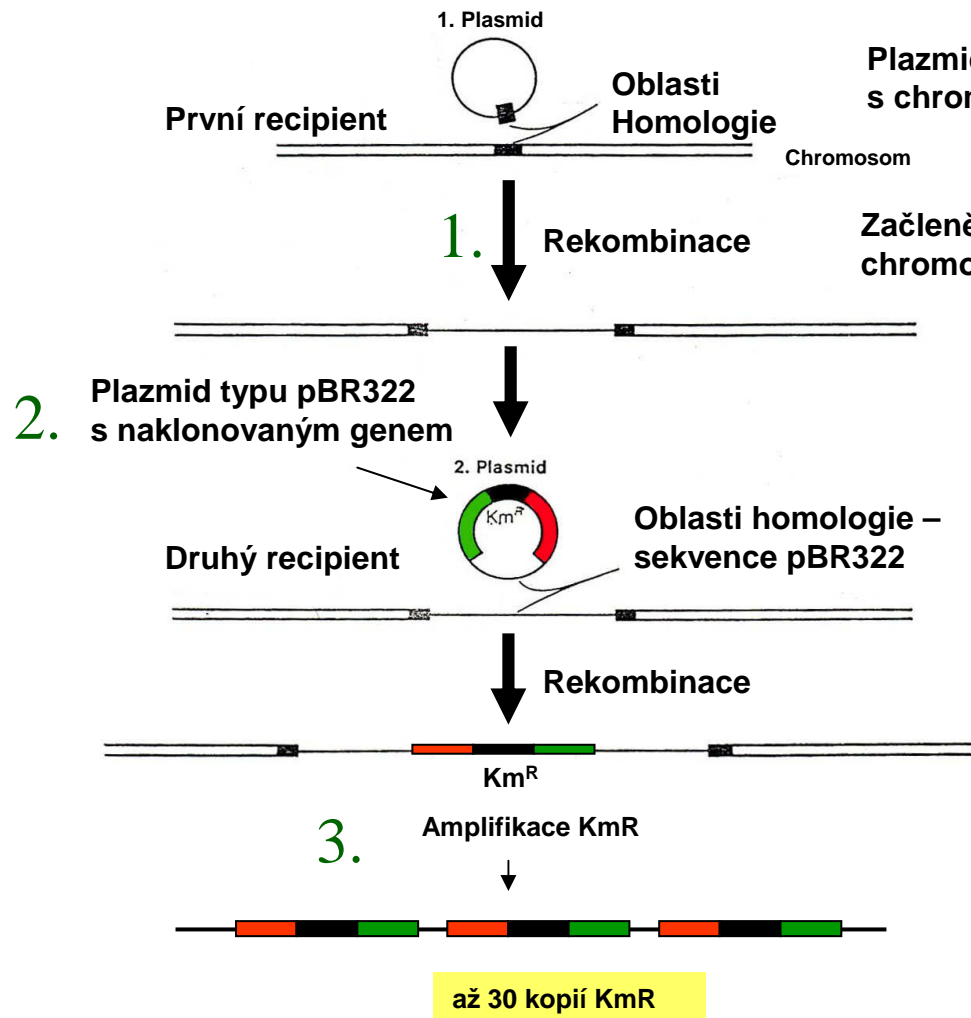
Kódující sekvence



Optimalizace spojení kódujících sekvencí



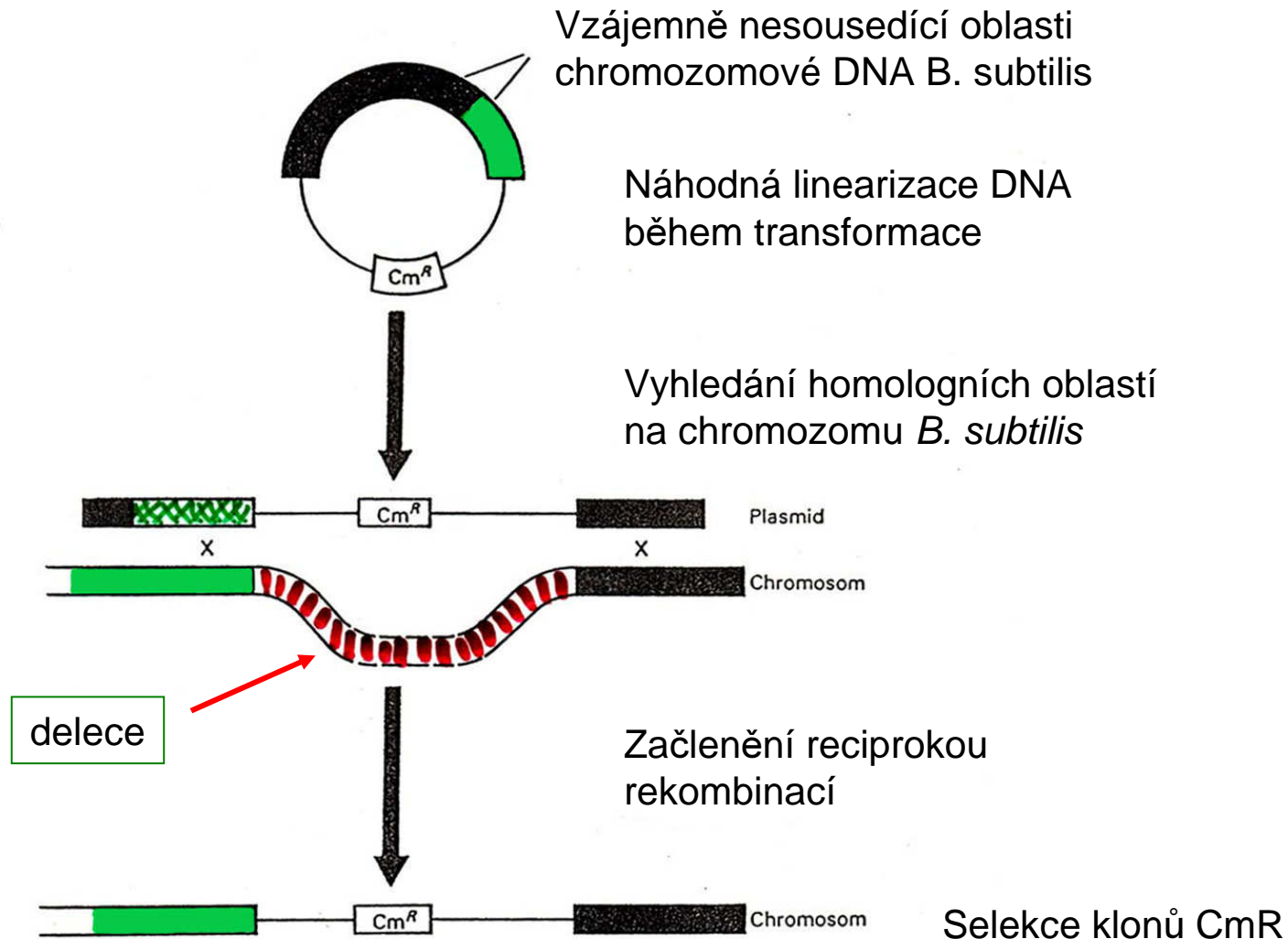
Vnášení heterologních plazmidů do *B. subtilis* s využitím „lešení“ („scaffolding“)



1. Vytvoření oblasti homologie pro začlenění klonovacího vektoru
2. Klonování genu zájmu a jeho přenos do recipienta
3. Možná amplifikace začleněného genu – selekce na AntR

Vytváření delecí v chromozomu *B. subtilis*

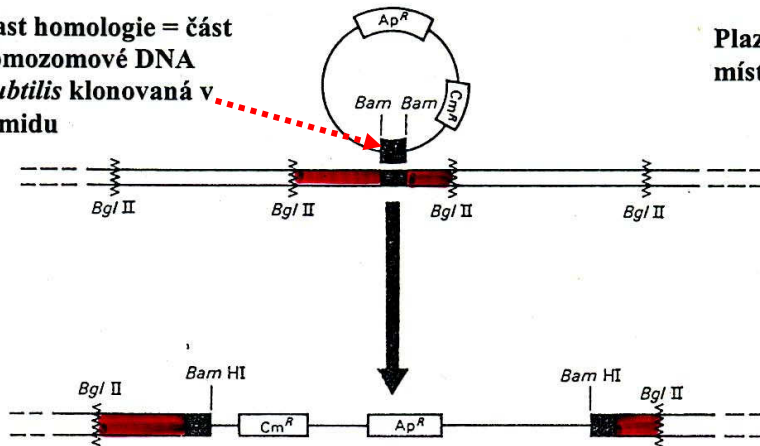
vektor, který se v *B. subtilis* nereplikuje



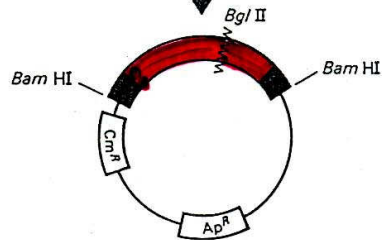
Klonování sekvencí chromozomu susedících s místy začlenění plazmidového vektoru

Oblast homologie = část chromozomové DNA *B. subtilis* klonovaná v plazmidu

Plazmid neobsahuje restriční místa *Bgl*III



Izolace DNA, štěpení *Bgl*III, Cirkularizace DNA-ligázou



Přenos do *E. coli*,
Selekce na ApR,
Analýza chromozomových oblastí

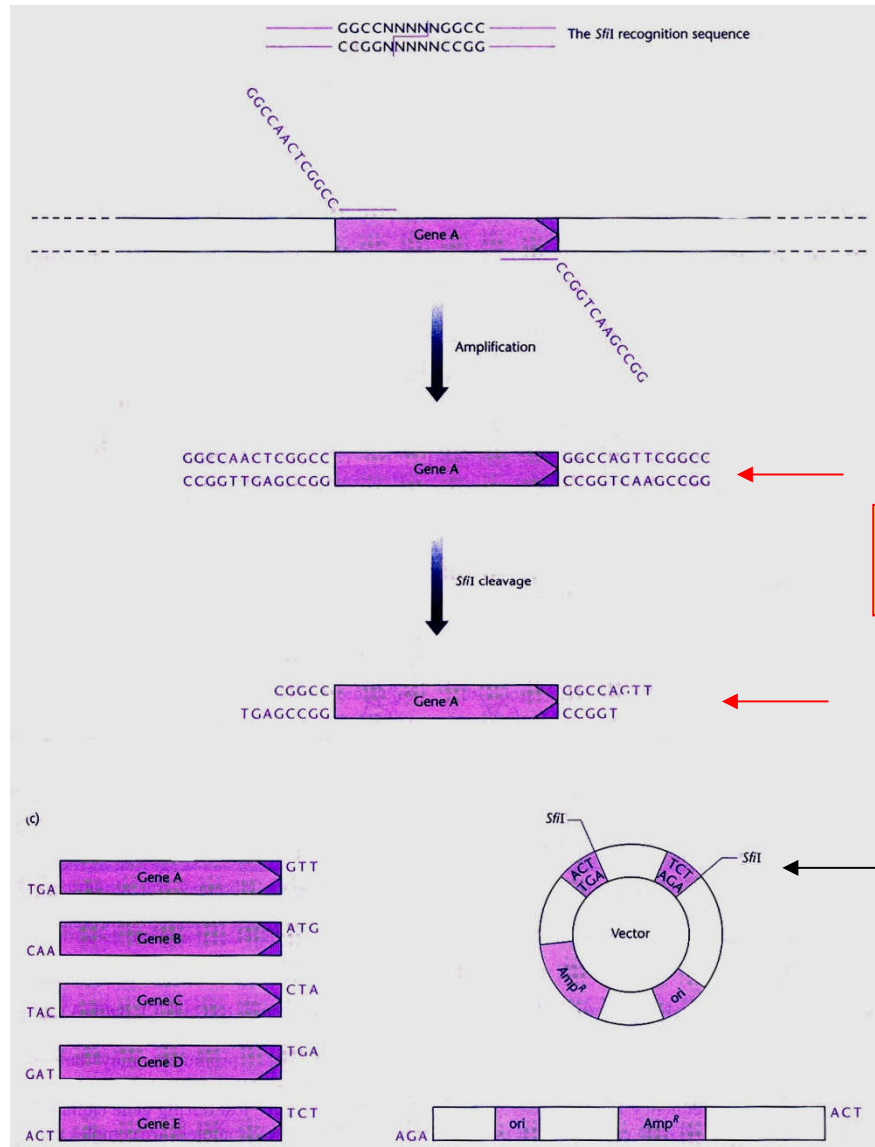
Přenos chromozomových genů z *B. subtilis* do *E. coli*

„vyprošťování“ genů

Klonování klastrů genů v požadovaném pořadí

Rozpoznávací sekvence *Sfi*I –
vnitřní část (NNNN) je variabilní
(vzácně štěpící enzym)

Amplifikace genu A pomocí PCR
s primery nesoucími v extenzích
místa *Sfi*I s vhodně navrženou vnitřní
sekvencí



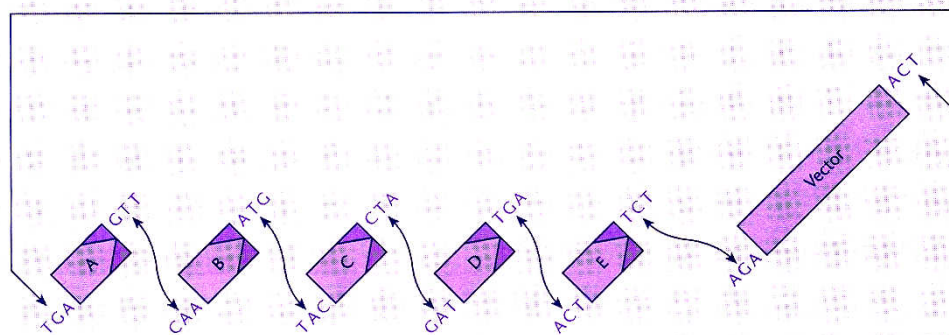
PCR produkt s extenzemi *Sfi*I

Vnitřní NNNNN má odlišnou podobu u
každého z amplifikovaných genů

PCR produkt po štěpení *Sfi*I

Klonovací vektor

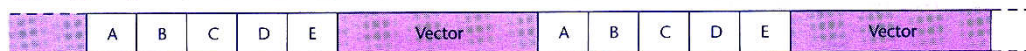
Klonování klastrů genů v požadovaném pořadí – pokrač.



Vzájemné spojení genů vybavených *Sfi* místy a jejich začlenění do vektoru

štěpení rekombinantních vektorů a jejich ligace

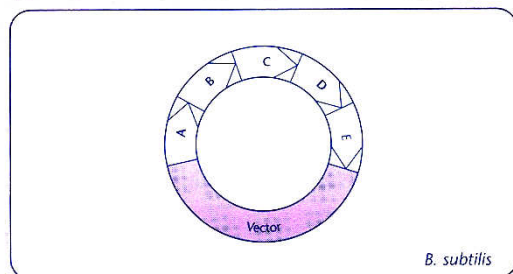
Formation of multimers on ligation



přenos lineárních molekul do buněk *B. subtilis* transformací

v buňkách se rekombinantní vektor cirkularizuje

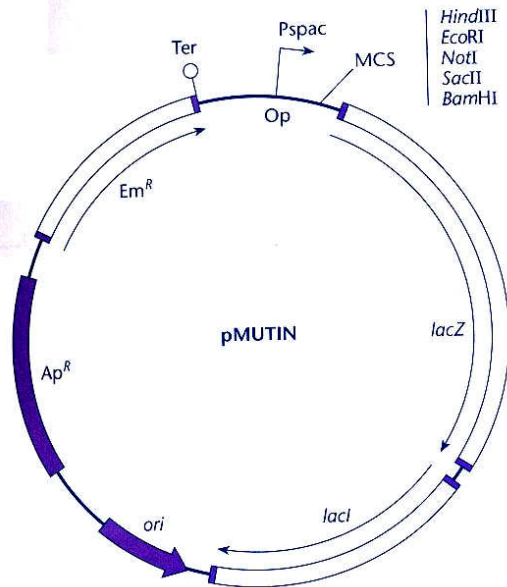
B. subtilis lze transformovat lineárními DNA za předpokladu, že obsahují duplikace



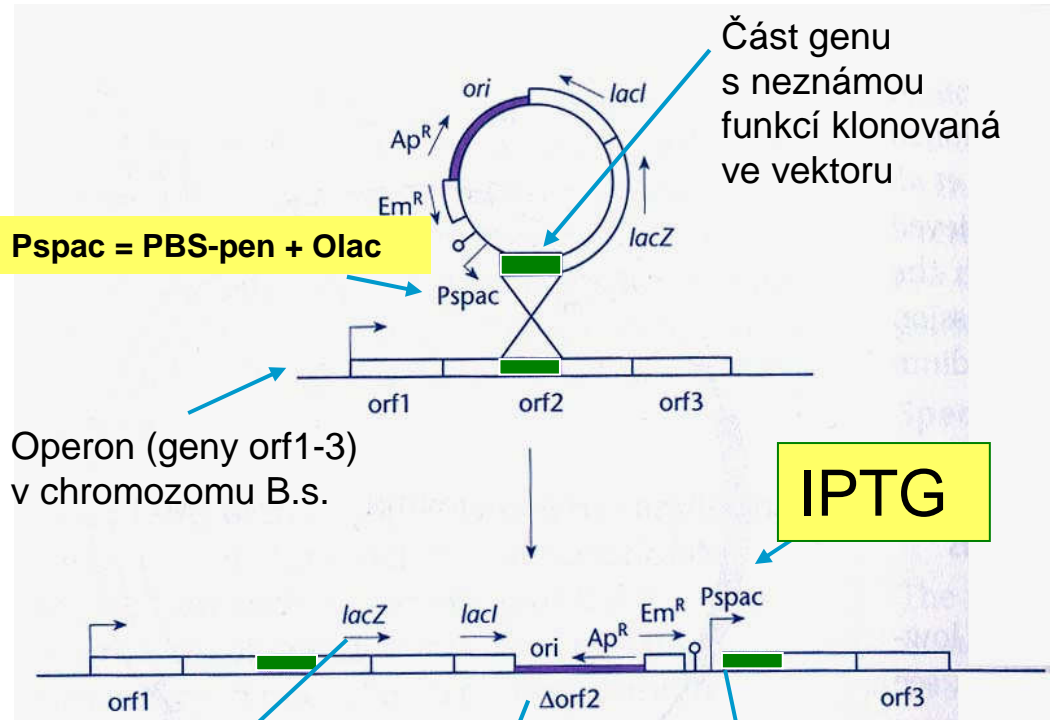
Příklad: příprava kmene *B. subtilis* pro tvorbu hydrokortizonu postupným spojením 8 genů

Analýza genů s neznámou funkcí v *B. subtilis* pomocí vektoru pMUTIN

Vektor pMUTIN



- vektor není schopen se replikovat v *B. subtilis*, což umožňuje provádět inzerční mutagenézu
- reportérový gen *lacZ* usnadňuje sledovat expresi cílového genu
- promotor *Pspac* umožňuje navodit expresi genů nacházejících se v témže operonu jako cílový gen



Operon (geny orf1-3) v chromozomu *B.s.*

Reportérový gen je exprimován (vytvoří se transkripční fúze)

orf2 je inzerčně inaktivován

exprese genů po směru transkripce od orf2

Charakteristika promotoru P_{spac}

$$P_{\text{spac}} = P_{\text{BSp_{en}} + O_{\text{lac}}$$

hybridní promotor regulovatelný v bacilech pomocí IPTG

K 3' konci promotoru genu pro penicilinázu z *B. licheniformis* (*P_{BSp_{en}}*) byl připojen lac operátor z *E. coli* (*O_{lac}*).

Gen kódující lac represor z *E. coli* byl zařazen pod kontrolu bacilového promotoru a RBS umožňujících jeho expresi v *B. subtilis*

Promotor je aktivní v řadě dalších G+ bakterií (stafylokoky, streptokoky...)

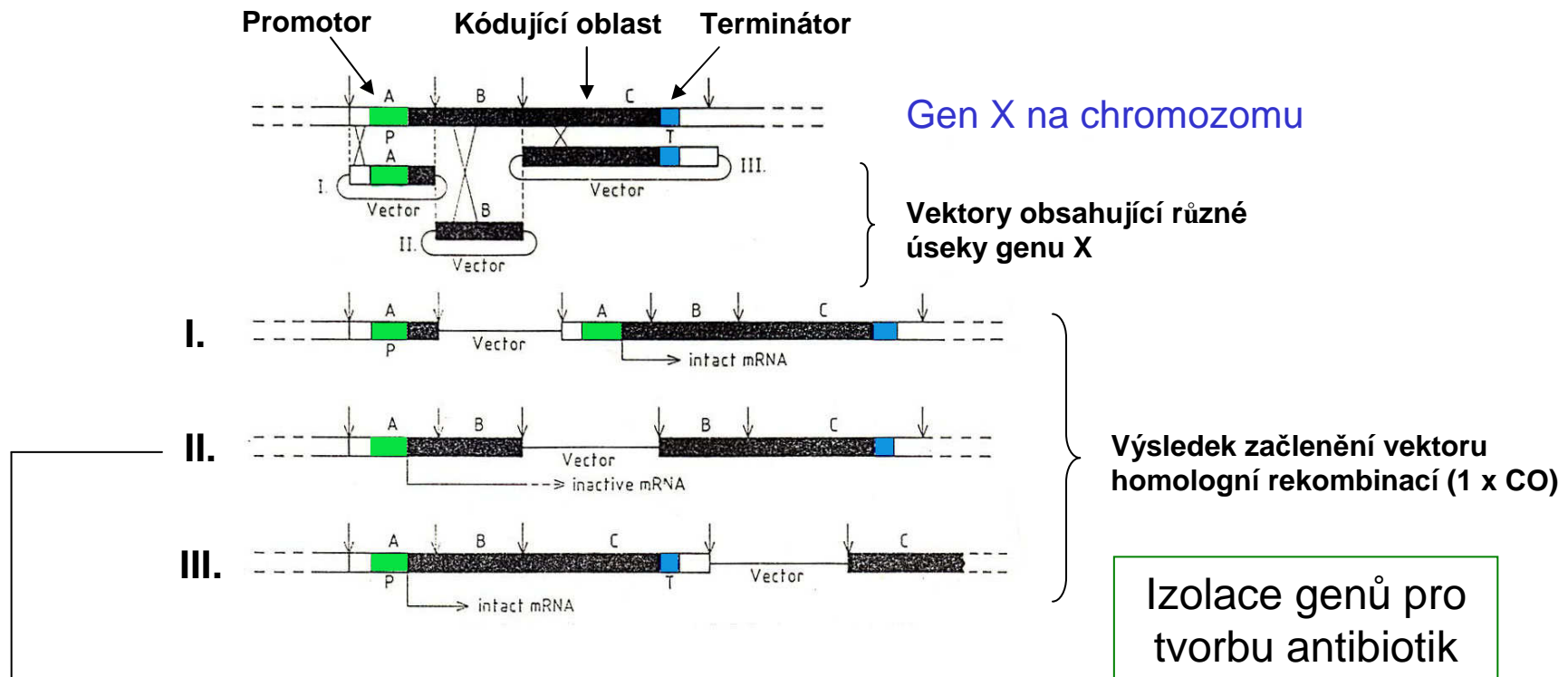
Klonování ve streptomycetách

- producenti antibiotik (60%) a extracelulárních proteinů (enzymy a inhibitory enzymů)
- přenos transformací do protoplastů (PEG)
- vektory odvozeny z plazmidů (SCP2) – charakter kyvadlových vektorů
- selekční markery – antibiotika (thiostrepton, viomycin, neomycin nebo metylenomycin)
- fágové vektory podobné lambda fágu (např. ΦC31) – přenos transformací do lyzogenů nebo má vektor sekvenci homologickou s chromozomem recipienta

Přenos kompletní biosyntetické dráhy pro tvorbu antibiotik

Klonování velkých úseků (40-100 kb) genomové DNA streptomycet ve vektorech BAC, pak přenos vektorů elektroporací do buněk streptomycet (nebo do protoplastů) a selekce klonů, v nichž se klonovaný úsek začlenil do chromozomu

Princip mutačního klonování u streptomycet



Postup mutačního klonování pro izolaci genů

1. Klonování chromozomového genu X (*antR*) do fágového vektoru (konstrukce genové knihovny)
2. Infekce buněk původního kmene exprimujícího gen X (*AntR*), selekce transduktantů na rezistenci k viomycinu (gen *vph* nesený na fágovém vektoru). Výsledkem začlenění vektoru homologní rekombinací je duplikace homologní sekvence, která vede k jedné ze 3 možností:
 - Vektor nese promotor (I) nebo terminátor (III), funkce genu zůstává zachována
 - Vektor nese kódující oblast genu (II), inzercí vektoru dojde k jeho inzerční inaktivaci (mutaci) → vyhledání klonů nesoucích mutaci hledaného genu

Klonování genů v archeích

- extremofilní organismy (T, pH, konc. solí)
- jedinečné fyziologické vlastnosti (např. striktně anaerobní a metanogenní)

Přenos genů:

- elektroporace, nízká účinnost
- transformace zprostředkovaná PEG
- transformace zprostředkovaná lipozomy

Vektory: používány jako kyvadlové, některé se integrují do chromozomu (inz. inaktivace)

- plazmidy
- viry

Selekční markery: rezistence k antibiotikům (puromycin, novobiocin, thiostreptin, mevinolin)

Reportérové geny: β -glukoronidáza, β -galaktozidáza, trehaláza

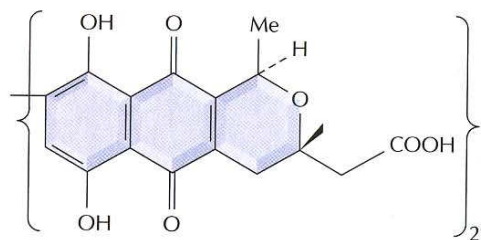
Konjugativní přenos plazmidových vektorů z *Escherichia coli* do metanogenních archeí *Methanococcus maripaludis*

Požadavky pro úspěšnou konjugaci:

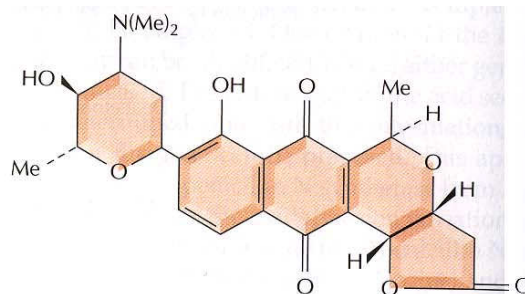
- a) Přítomnost *oriT* v poloze *cis* na plazmidu, který je přenášen mobilizací,
- b) mobilizační funkce v donorové buňce (zajišťuje plazmid RP4)
- c) Donorové buňky musí být životaschopné
- d) Je vyžadován kontakt buněk
- e) DNáza nezabraňuje přenosu

Závěr: dochází ke konjugativnímu přenosu genů z bakterií do archeí (další možnost vedle transformace pomocí PEGu)

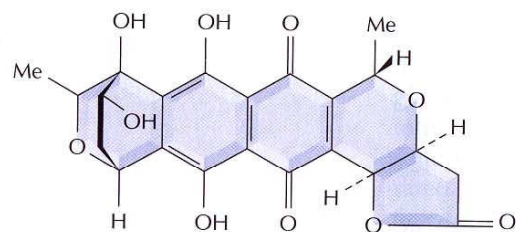
Struktura přírodních a hybridních isochromanchinonových antibiotik vytvářených streptomycetami po přenosu plazmidu



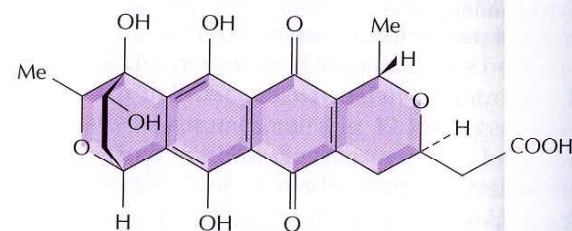
Actinorhodine



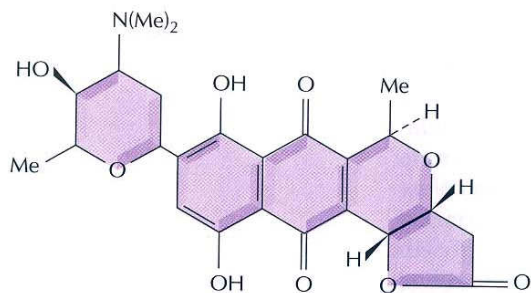
Medermycin



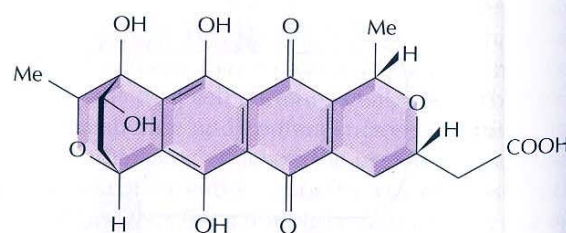
Granaticin



Dihydrogranaticin



Mederrhodine A



Dihydrogranatirhodine

přírodní

hybridní

Table 12.4 Antibiotics produced by various *Streptomyces* strains and those transformed with plasmids pIJ2303 and pIJ2315

Strain/plasmid	Color of culture		Antibiotic(s)
	Acidic	Alkaline	
<i>S. coelicolor</i>	Red	Blue	Actinorhodine
<i>Streptomyces</i> sp.	Yellow	Brown	Medermycin
<i>Streptomyces</i> sp./pIJ2303	Red	Blue	Medermycin, actinorhodine
<i>Streptomyces</i> sp./pIJ2315	Red	Purple	Mederrhodine A, medermycin
<i>S. violaceoruber</i> B1140	Red	Blue-purple	Granaticin, dihydrogranaticin
<i>S. violaceoruber</i> B1140/pIJ2303	Red	Blue-purple	Granaticin, dihydrogranaticin, actinorhodine
<i>S. violaceoruber</i> Tü22	Red	Blue-purple	Granaticin, dihydrogranaticin
<i>S. violaceoruber</i> Tü22/pIJ2303	Red	Blue-purple	Dihydrogranatirhodine, actinorhodine

Do buněk kmene streptomycet produkujícího určité antibiotikum se vnese transformací plazmid obsahující všechny nebo část genů kódujících příbuzné antibiotikum. Kmen pak vedle původního antibiotika vytváří nové antibiotikum, které je mírně odlišnou strukturální variantou toho původního.

