Bezpečnost v informačních technologiích (KIV/BIT)

2. Ochrana informací šifrou, typy šifer, použití, příklady

Ing. Pavel Král, Ph.D.

Katedra informatiky a výpočetní techniky
Západočeská Univerzita

24. února 2016

Obsah

Rozdělení šifer

- substituční
- transpoziční
- kombinace

- symetrické (jeden klíč pro šifrování i dešifrování)
  - blokové
  - proudové
- asymetrické (jeden klíč pro šifrování , druhý pro dešifrování)

Rozdělení substitučních šifer

záměna znaku (skupiny znaků) za jiný znak (skupinu znaků)

1. **jednoduchá substituční (monoalfabetická šifra)**
   - jeden znak otevřeného textu $\rightarrow$ jeden znak šifrového textu
2. **homofonní substituční šifra**
   - jeden znak plaintextu $\rightarrow$ jeden znak z množiny znaků
3. **polygramová subst. šifra**
   - skupina znaků plaintextu $\rightarrow$ skupina znaků šifrového textu
4. **polyalfabetická substituční šifra**
   - spojení několika jednoduchých šifer; postupná aplikace

Šifra ATBAŠ

- vznik okolo roku 500 př.n.l.
- písmena hebrejské abecedy použity v substitučním systému násl. způsobem:
  - záměna písmene za písmeno ležící ve stejné vzdálenosti od konce abecedy.
  - (první písmeno je nahrazeno posledním, druhé předposledním atd.)
  - princip v názvu ← **A-T-B-Š** první písmeno hebrejské abecedy (alef), poslední (thav), druhé (bet) a předposlední (šin)

Cézarova šifra

- jedna z nejstarších, jednoduchost
- použití pro vojenskou komunikaci, Julis Caesar, zmatení Galů, popis v Zápiscích o válce galské
- modifikována použita ruskou carskou armádou za 1. sv. války
- nahrazení znaku znakem o tři místa vpravo (A $\rightarrow$ D, B $\rightarrow$ E, Z $\rightarrow$ C)
- abeceda šifrového textu = rotace abecedy plaintextu ($\times$ obecná permutace)
- Př: FHCDURYD VLIUD
- v praxi přenos po skupinách znaků, např. 4: FHCD URYD VLIU D
- *zobecnění*: posun o K = klíč $\rightarrow$ 26 různých klíčů (počet písmen abecedy)

Monoalfabetická substituce

- významné vylepšení
- $\forall$ symbol plaintextu $\exists$ šifrový symbol
- Př:
  - A B C D ..
  - X A F R ..
- výrazně více klíčů (počet $\forall$ permutací písmen abecedy) $= 26! \approx 4 \times 10^{26}$ klíčů
- tvorba klíče
  - náhodně $\rightarrow$ složité zapamatování $\rightarrow$ složitá distribuce
  - slovo + zbylá písmena abecedy $\rightarrow$ snadné zapamatování a distribuce
- jednoduchost $\rightarrow$ oblíbenost
  - distribuce klíčů bezproblémová (viz výše) a samotné šifrování a dešifrování také jednoduché ($\times$ Vigenèrova šifra)

Bezpečnost monoalfabetické (polygramové) šifry

- praktická nemožnost prolomení algoritmu hrubou silou
  - vyzkouším 10^9 klíčů/s (rychlost PC v GHz) $\rightarrow 4 \times 10^{17}$ sec. $\approx$ 12 miliard let
- snadno rozluštitelná pomocí **frekvenční analýzy**
- nejčastější písmeno v češtině "e", dále "o" $\rightarrow$ totéž v zašifrovaném textu
- bigramy: nejčetnější "st", "te", "ne"
- trigramy: nejčetnější "pro", "ist"
- samohláska $\rightarrow$ následuje více různých písmen (souhlásky); souhláska $\rightarrow$ následuje méně různých písmen (samohlásky).
- potřeba šifrového textu dostatečné délky (čím více, tím lépe)

$\rightarrow$ použití **nedoporučeno**

Frekvenční analýza - ukázka[1]

[1] pro angličtinu

Homofonní substituční šifra

- z řeckého "homos" – stejný a "phonos" – zvuk
- (snadná) rozluštitelnost monoalfabetické šifry pomocí *frekvenční analýzy* $\rightarrow$ vylepšení kryptografického algoritmu $\rightarrow$ Homofonní substituční šifra
- písmeno - nahrazení řadou reprezentací
- počet $\approx$ frekvenci výskytu písmene
- $\rightarrow$ četnost každého písmene v šifrovém textu přibližně stejná
- typ monoalfabetické šifry
  - 1. písmeno *n* reprezentací $\times$ zpět vždy na jedno písmeno jedné abecedy

Výhody

- jednoduchost
- bezpečnost proti *základní* frekvenční analýze

Homofonní substituční šifra - příklad [1]

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
09	48	13	01	14	10	06	23	32	15	04	26	22	18	00	38	94	29	11	17	08	34	60	28	21	02
12	81	41	03	16	31	25	39	70			37	27	58	05	95		35	19	20	61		89		52	
33		62	45	24			50	73			51		59	07			40	36	30	63					
47			79	44			56	83			84		66	54			42	76	43						
53				46			65	88					71	72			77	86	49						
67				55			68	93					91	90			80	96	69						
78				57										99					75						
92				64															85						
				74															97						
				82																					
				87																					
				98																					

Polyalfabetická substituční šifra

- přidání dalších abeced pro šifrování
  - výběr klíče K pro volbu šifrovací abecedy
    1. volba šifrovací abecedy dle klíče K
    2. zašifrování daného písmene dle zvolené abecedy
    3. posun na další písmeno
    4. jít na krok (1)
- Př: Albertiho šifra, Vigenèrova šifra

Albertiho šifra

- použití dvou šifrovacích abeced
- a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
- Q W E R T Z U I O P A S D F G H J K L Y X C V B N M
- Y A Q X S W C D E V F R B G T N H Z M J U K I L O P
- při šifrování se abecedy střídají
- hlavní výhoda: jedno písmeno plaintextu $\rightarrow$ dva různé znaky v zašifrovaném textu
- ztížení kryptoanalýzy (nemožnost použití jednoduché frekvenční analýzy)

Vigenèrova šifra

- použití až 26 šifrových abeced
- základem šifrování se stal tzv. "Vigenèrův čtverec" zápis 26 šifrových abeced

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	..
a	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	..
b	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	..
c	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Šifrování

- klíč = např. slovo libovolné délky.
- (slovo délky jedna → Cézarovu šifra)
- delší klíč → bezpečnější šifra
- Pozn: nevolit slabé klíče, např. "aaaaa"
- dle písmen klíče volíme postupně šifrovací abecedy z Vigenèrova čtverce a zašifrováváme jimi otevřený text zprávy

Dešifrování

- opačným způsobem

Vigenèrova šifra - kryptoanalýza [1]

Vigenèrova šifra - kryptoanalýza
Hledání klíče

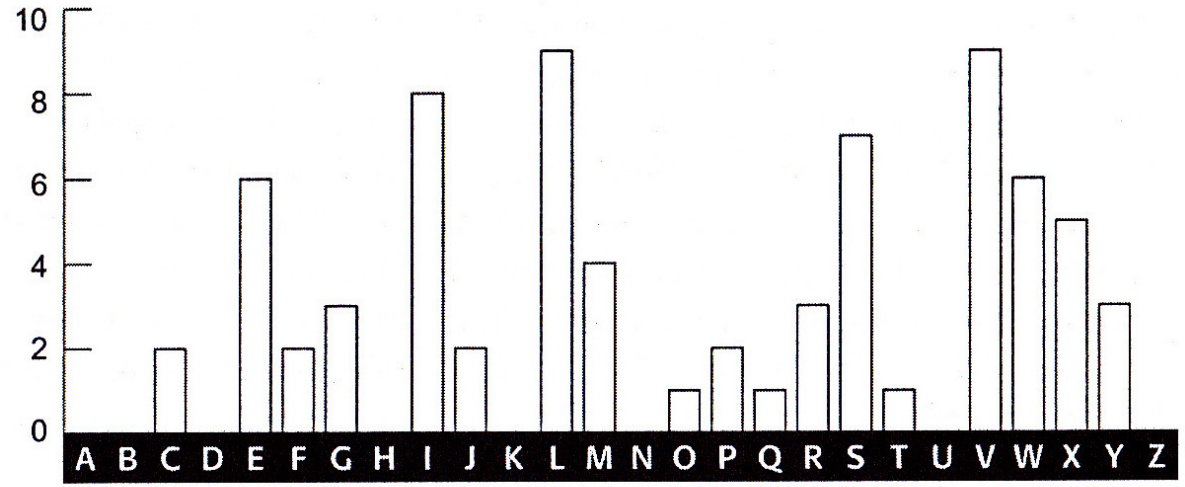
- hledání často se opakujících sekvencí
- délka sekvence $>$ 4 písmena

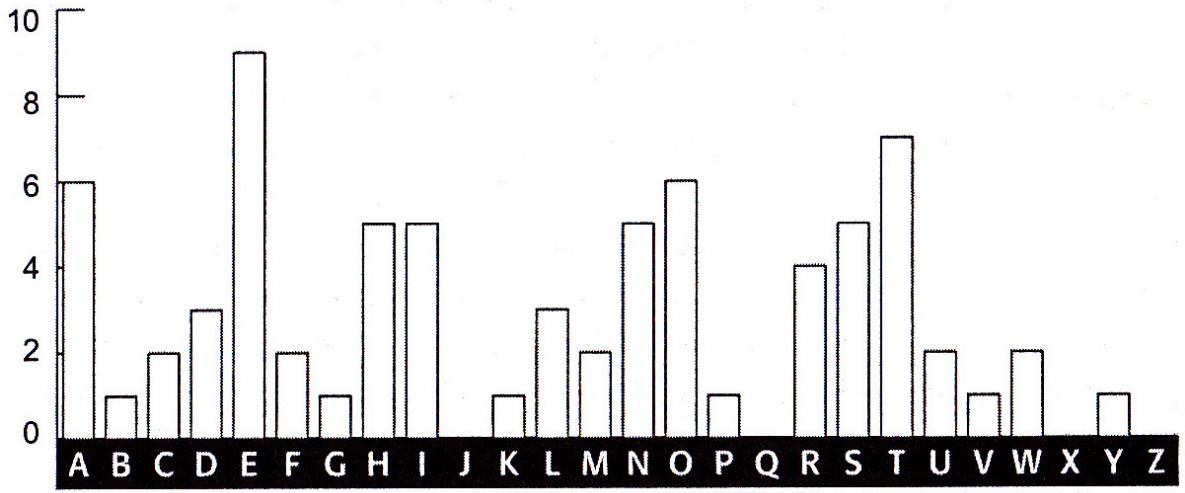
Opakovaná sekvence	Interval mezi opakováním	Možná délka klíče																	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E-F-I-Q	95				✓														✓	
P-S-D-L-P	5				✓															
W-C-X-Y-M	20	✓		✓	✓					✓										✓
E-T-R-L	120	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓			✓					✓

- $\rightarrow$ pravděpodobně klíč délky 5
- $\rightarrow$ vzít písmeno č. 1, 6, 11, 16, ... - frekvenční analýza

Vigenèrova šifra - kryptoanalýza

Frekvenční analýza - abeceda č. 1



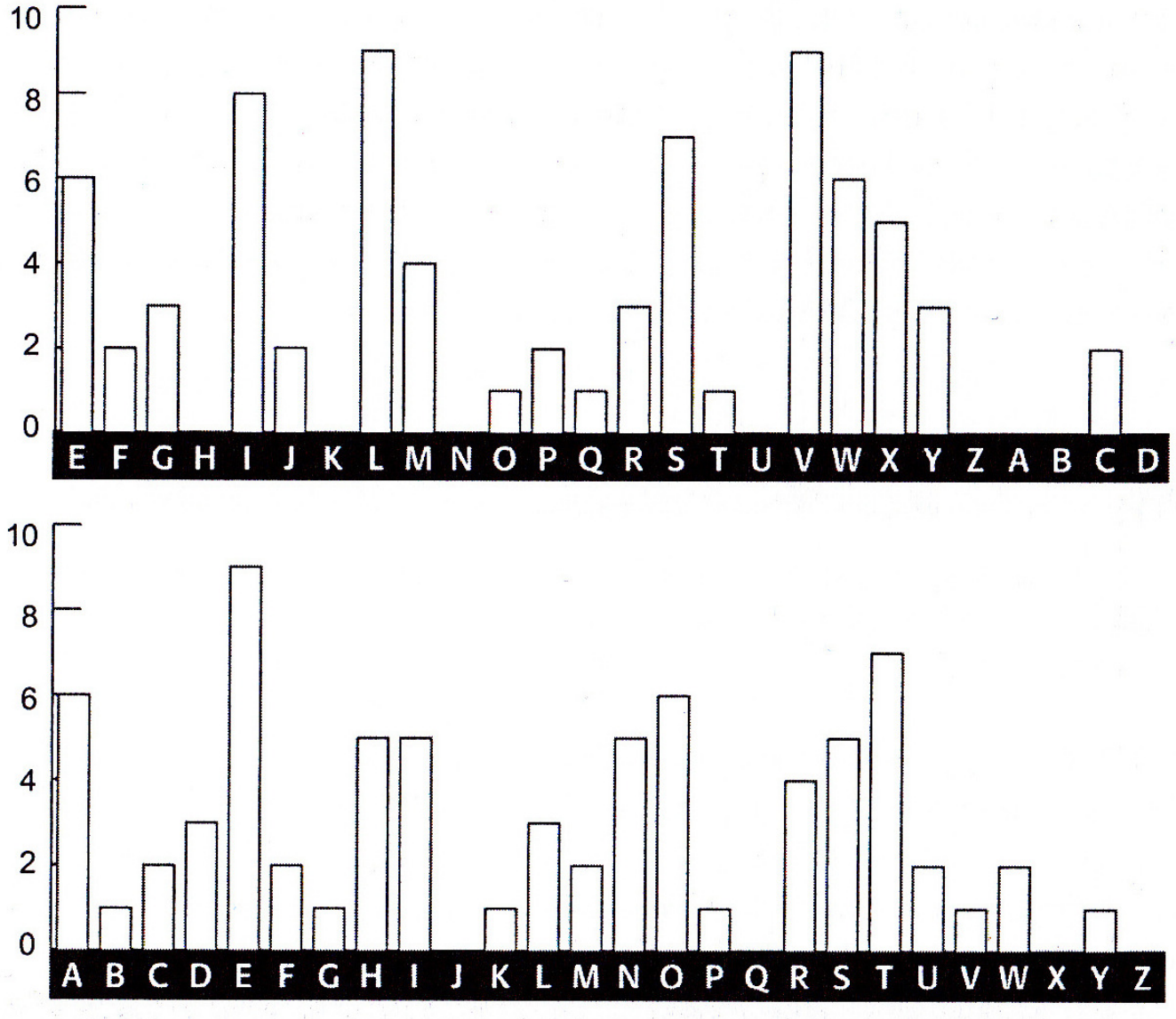


- referenční abeceda dole

Vigenèrova šifra - kryptoanalýza

Frekvenční analýza - abeceda č. 1

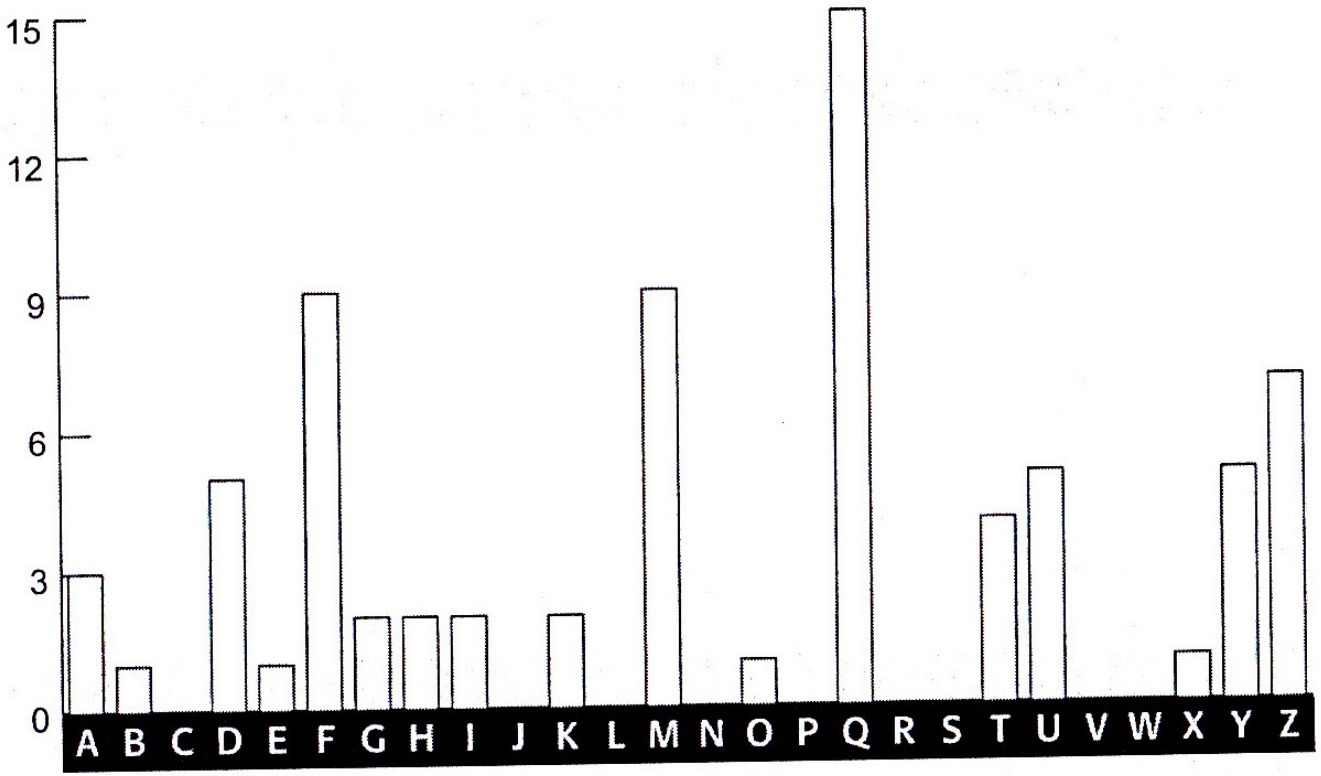
- posun o 4. písmena vlevo (nahoře) $\rightarrow$ 1. písmeno klíče = **E**



Vigenèrova šifra - kryptoanalýza

Frekvenční analýza - abeceda č. 2

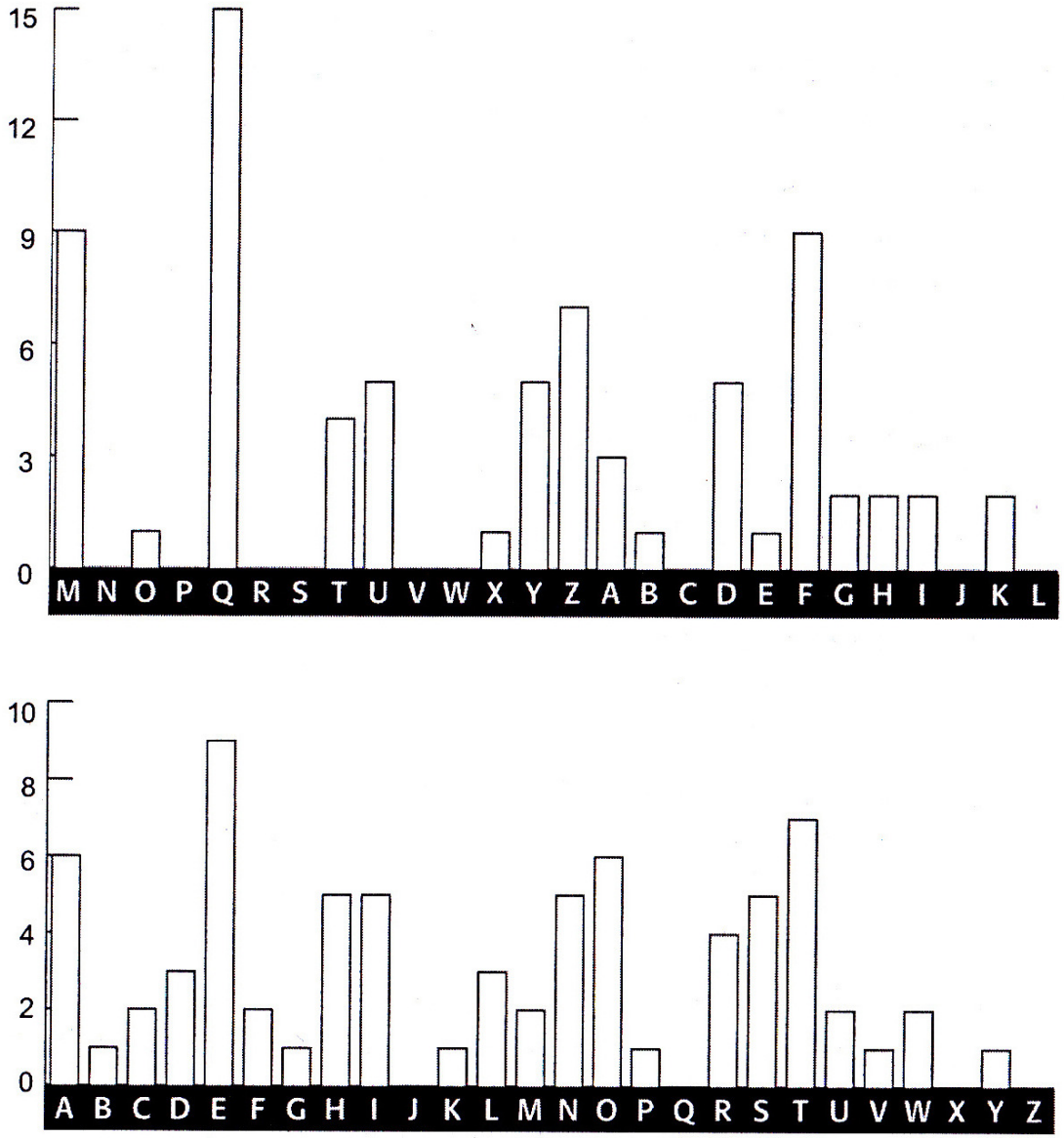
- největší frekvence $\rightarrow$ písmeno E
- nejméně frekventovaná $U - Z$



Vigenèrova šifra - kryptoanalýza

Frekvenční analýza - abeceda č. 2

- posun o 12. písmen vlevo (nahoře) $\rightarrow$ 2. písmeno klíče = **M**



Vigenèrova šifra - kryptoanalýza
Řešení

Sit thee down, and have no shame,
Cheek by jowl, and knee by knee:
What care I for any name?
What for order or degree?

Let me screw thee up a peg:
Let me loose thy tongue with wine:
Callest thou that thing a leg?
Which is thinnest? thine or mine?

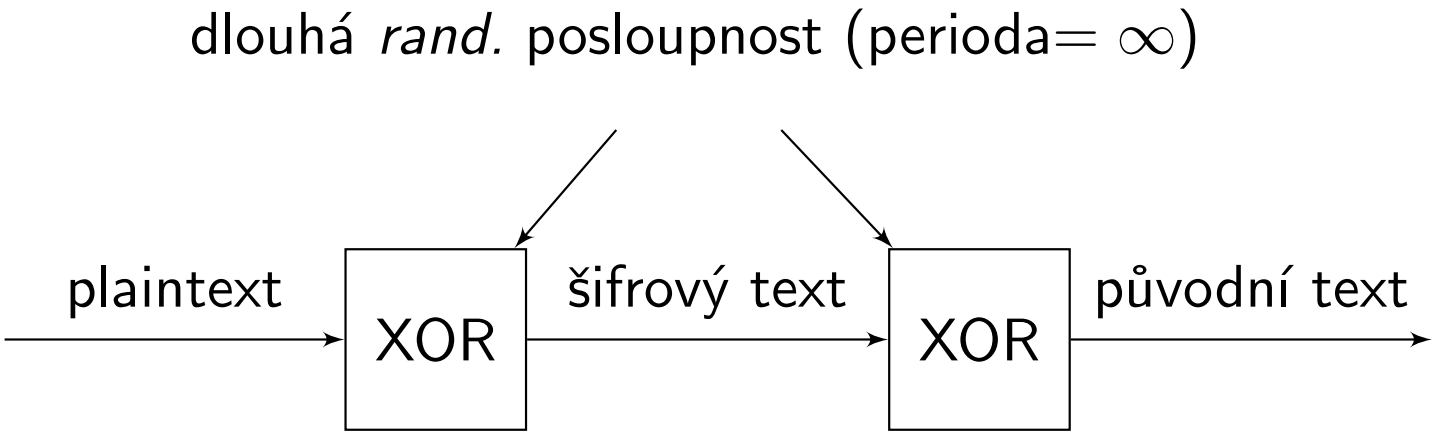
Thou shalt not be saved by works:
Thou hast been a sinner too:
Ruined trunks on withered forks,
Empty scarecrows, I and you!

Fill the cup, and fill the can:
Have a rouse before the morn:
Every moment dies a man,
Every moment one is born.

Vylepšení substitučních šifer

- delší jednotka pro zakódování
  - znak $\rightarrow$ skupina znaků (bigramy, trigramy, ...)
  - $+$ stejná písmena zašifrována v různých bigramech jinak $\rightarrow$ znemožnění jednoduché kryptoanalýzy
  - $-$ zachována frekvence bigramů
- prodloužení klíče
  - Př. Vernamova šifra - délka klíče $=$ délka zprávy
  - $+$ nerozluštitelnost
  - $-$ distribuce klíče
  - tzv. *jednorázový klíč*

Vernamova šifra



Transpoziční šifry

- Princip = změna pořadí jednotlivých znaků textu (permutace) na základě daného algoritmu
- + jednoduchost – není obvykle třeba jakákoliv znalost matematiky.
- – relativně jednoduché dešifrování pomocí frekvenční analýzy (znaky zůstávají totožné, mění se jen jejich pořadí).

Realizace

- sloupcová transpozice
- šifrovací mřížka

Sloupcová transpozice

Princip šifrování

- volba klíčového slova $K \rightarrow$ pořadí písmen (podle abecedy) určuje pořadí při šifrování
- přepsání šifrovaného textu do tabulky o počtu sloupců který je roven počtu písmen v klíčovém slově
- zašifrování dle klíče

Př:

- text: co jsem napsal?
- klic (=klíčové slovo)
- 3421
- cojs
- emna
- psal
- $\rightarrow$ (po čtveřicích) sjco anem laps $\rightarrow$ (výsledek) sjcoanemlaps

Dešifrování

- rozdělit písmena do sloupců podle délky klíče
- seřadit dle pořadí v klíči (sjco - pořadí písmen 3421 $\rightarrow$ cojs)

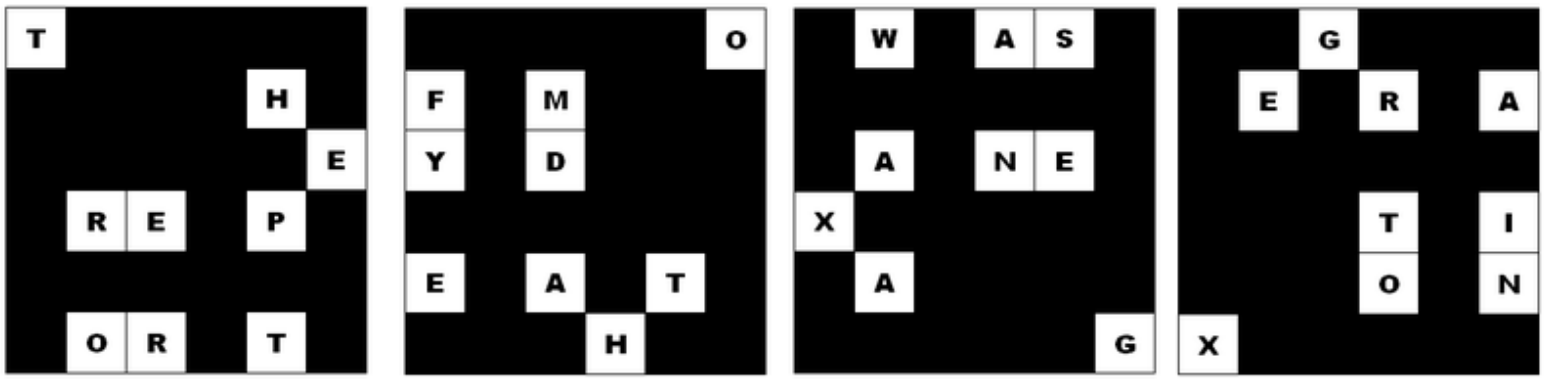
Šifrovací mřížka

- obvykle papírová karta s proraženými otvory (okénky)
- přiložení mřížky na papír, zápis textu zprávy do okének (po písmenech, slabikách, slovech)
- doplnění textu na prázdné místo $\rightarrow$ přenášená zpráva je skryta v textu (=steganografie)
- dešifrování přiložením shodné mřížky

Otočná mřížka

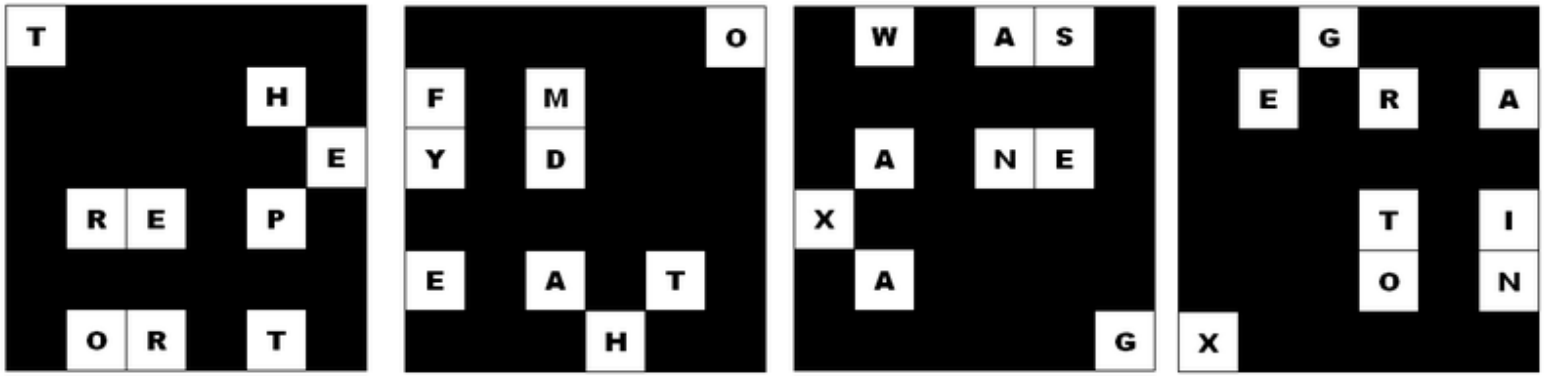
- přiložení mřížky na papír a vyplnění všech okének
- otočení mřížky o 90° (návrh tak, aby po otočení bylo ve všech okénkách prázdné místo)
- postupné vystřídání 4 pozic
- počet znaků zprávy $> \#rows \times \#lines$ (mřížky) $\rightarrow$ rozdělení zprávy do více tabulek
- dešifrování přiložením shodné mřížky 4 $\times$

Příklad otočné šifrovací mřížky



T	W	G	A	S	O
F	E	M	R	H	A
Y	A	D	N	E	E
X	R	E	T	P	I
E	A	A	O	T	N
X	O	R	H	T	G

Příklad otočné šifrovací mřížky



T	W	G	A	S	O
F	E	M	R	H	A
Y	A	D	N	E	E
X	R	E	T	P	I
E	A	A	O	T	N
X	O	R	H	T	G

Řešení:

- The report of my death was an exaggeration x.

Šifra PLAYFAIR

- vznik: 1854 - vědec Charles Wheatstone
- účinné prosazování přítelem (baron Lyon Playfair) pro přijetí britskou vládou $\rightarrow$ název

Šifrování:

1. odstranění diakritiky a interpunkce, náhrada $J \rightarrow I$
2. rozdělení písmen do párů
3. zdvojená písmena $\rightarrow$ oddělení písmenem X nebo Z (střídat)
4. lichý počet písmen $\rightarrow$ doplnění X nebo Z na konec

1. dvojice ve stejném řádku $\rightarrow$ šifruj písmenem vpravo (cyklicky)
2. dvojice ve stejném sloupci $\rightarrow$ šifruj písmenem pod $(-\|-)$
3. neplatí (1) ani (2) $\rightarrow$
   - C = průsečík řádek prvního $\times$ sloupec druhého písmene dvojice
   - C = průsečík řádek druhého $\times$ sloupec prvního písmene dvojice

Dešifrování: opačně

Šifra PLAYFAIR - příklad

Tabulka (klíč):

H	A	R	P	S
I	C	O	D	B
E	F	G	K	L
M	N	_	T	U
V	W	X	Y	Q

Šifra:

- OSFHED_FXGGNMPGMFMOENHTNCFIEMF

Text zprávy:

- ???

Šifra PLAYFAIR - příklad - řešení

Tabulka (klíč):

H	A	R	P	S
I	C	O	D	B
E	F	G	K	L
M	N	_	T	U
V	W	X	Y	Q

Šifra:

- OSFHED_FXGGNMPGMFMOENHTNCFIEMF

Text zprávy:

- BREAKING OF THE ENIGMA MACHINE

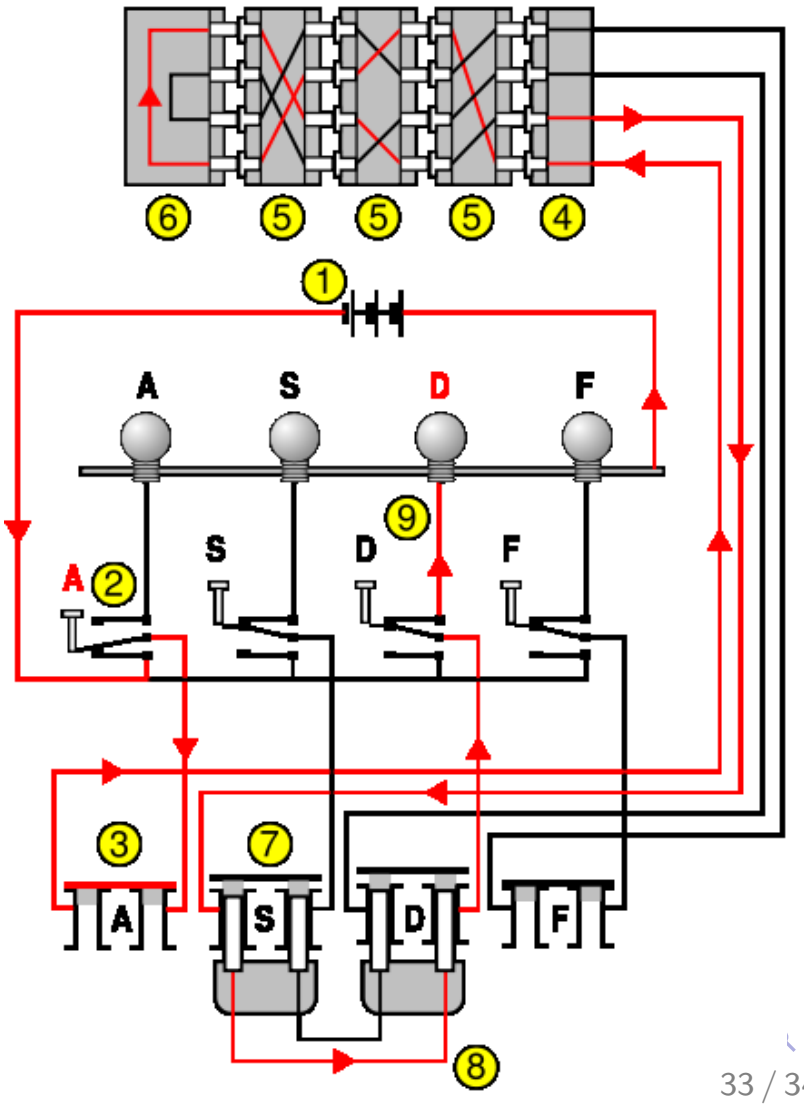
Šifrovací stroje

- základem:
  - klávesnice
  - otočné rotory (na jedné ose)
  - elektromechanický princip
- nejznámější **Enigma** (německý vynálezce Arthur Scherbius)
- tři nebo čtyři rotory
- rotor kontakty na obou stranách, různé mapování

→ velký rozvoj šifrování

Enigma [2]

1. baterie
2. klávesy
3. propojovací deska
4. rozvodové kolo
5. rotory (permutace)
6. deflektor
7. zástrčka
8. propojovací kabel
9. žárovka



- **A** $\rightarrow$ **D**
- pro rozluštění potřeba známý otevřený text

Simon Singh,
Kniha kódů a šifer,
Dokořán a Argo, 2003.

Jak pracuje Enigma,
http://enigma.eleferno.cz/index.php?text=13-jak-pracuje-enigma,
2005.