Plan całości wykładu

- Wprowadzenie (2 wykłady)
- Warstwa aplikacji (2 wykłady)
- Warstwa transportu (2 wykłady)
- Warstwa sieci (3 wykłady)
- Warstwa łącza i sieci lokalne (3 wykłady)
- Podstawy ochrony informacji (3 wykłady)

Plan czasowy wykładu i ćwiczeń

start

zadania programistyczne
(łącznie 16 punktów)

kolokwium (24 punktów)

zadania programistyczne i
zaliczenie ćwiczeń

egzamin (60 punktów)

Literatura do ochrony informacji w sieciach komputerowych

Rozdział 8, *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*, wydanie 2 lub 3, J. Kurose, K. Ross, Addison-Wesley, 2004

Ochrona informacji w sieciach komputerowych

Cele wykładu:

- zrozumienie zasad ochrony informacji:
  - kryptografia i jej *wiele* zastosowań poza "poufnością"
  - uwierzytelnienie
  - integralność
  - dystrybucja kluczy
- ochrona informacji w praktyce:
  - ściany ogniowe i systemy wykrywania włamań
  - ochrona informacji w warstwach aplikacji, transportu, sieci, łącza, i fizycznej

Mapa wykładu

7.1 Co to jest ochrona informacji?
7.2 Zasady działania kryptografii
7.3 Uwierzytelnienie
7.4 Integralność
7.5 Dystrybucja kluczy i certyfikacja
7.6 Kontrola dostępu: ściany ogniowe
7.7 Ataki i środki zaradcze
7.8 Wykrywanie włamań i cyfrowa kryminalistyka
7.9 Ochrona informacji w wielu warstwach

Co to jest ochrona informacji?

Poufność: tylko nadawca, zamierzony odbiorca powinien "rozumieć" zawartość wiadomości

- nadawca *szyfruje* wiadomość
- odbiorca *odszyfrowuje* wiadomość

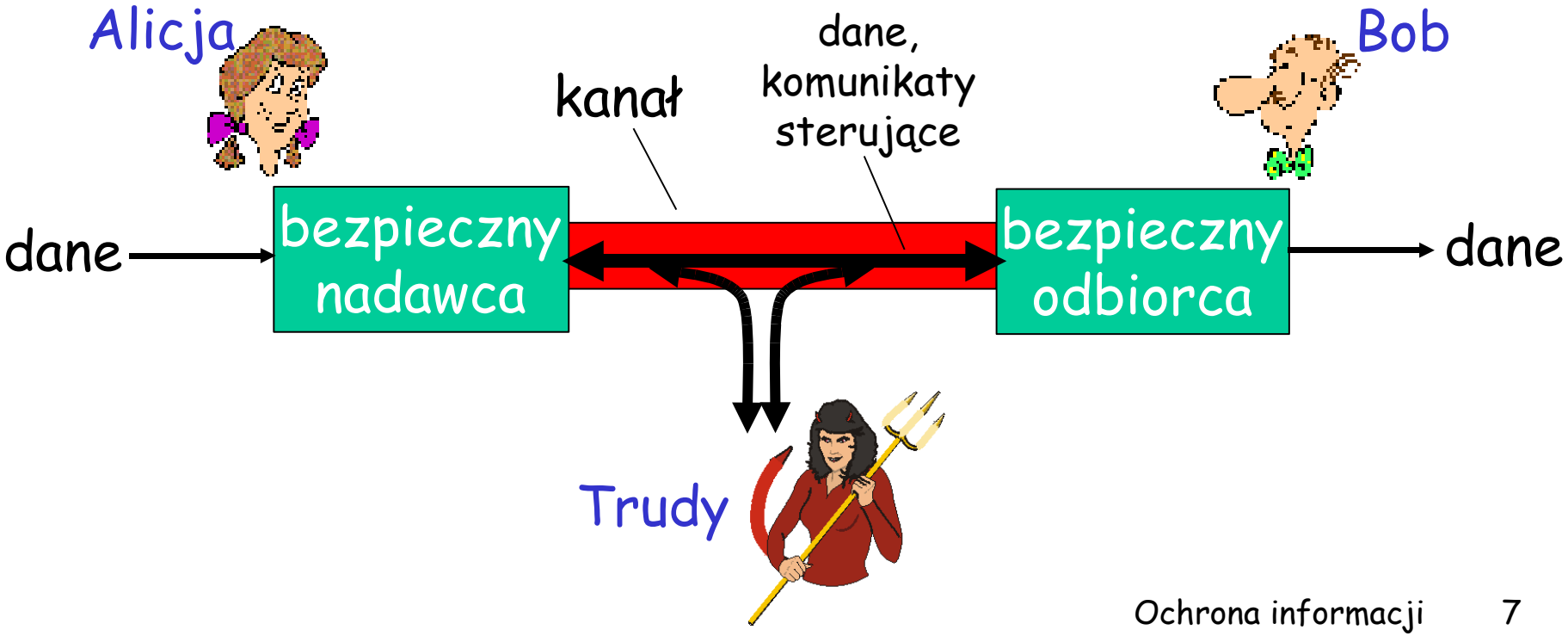
Uwierzytelnienie: nadawca, odbiorca chcą wzajemnie potwierdzić swoją tożsamość

Integralność: nadawca, odbiorca chcą zapewnić, że wiadomość nie zostanie zmodyfikowana (podczas komunikacji, lub później) niepostrzeżenie

Dostępność: usługi muszą być dostępne dla użytkowników

Przyjaciele i wrogowie: Alicja, Bob, Trudy

- dobrze znani w środowisku ochrony informacji
- Bob, Alicja (dobrzy znajomi) chcą porozumiewać się "bezpiecznie"
- Trudy (intruz) może przechwytywać, usuwać, dodawać komunikaty



Kim mogą być Bob i Alicja?

- … najprościej, *prawdziwymi* ludźmi!
- Przeglądarka/serwer WWW dla elektronicznych transakcji (n.p., zakupy on-line)
- klient/serwer banku on-line
- serwery DNS
- rutery wymieniające aktualizacje tablic rutingu
- inne przykłady?

Na świecie są źli ludzie...

Co może zrobić "zły człowiek"?

Odpowiedź: bardzo dużo!

- *podsłuchiwać:* przechwytując wiadomości
- aktywnie *dodawać* wiadomości do komunikacji
- *podszywać się:* może fałszować (spoof) adres nadawcy w pakiecie (lub dowolne pole w pakiecie)
- *przechwytywać:* "przejmować" istniejące połączenie przez usunięcie nadawcy lub odbiorcy, zastępując go sobą, przejmować kontrolę nad hostem nadawcy/odbiorcy
- *zablokować usługę*: uniemożliwić dostęp do usługi innym (ang. *denial of service*)

Na świecie są źli ludzie...

Czy można się zabezpieczyć technologicznie?

Odpowiedź: nie można!

- ataki technologiczne i środki zaradcze to przedmiot tego wykładu, lecz...
- ...najprostszy atak, to wykorzystanie słabości człowieka!
  - karteczki z hasłami
  - "pożyczanie" konta
  - logowanie się na obcym komputerze
- ...a najskuteczniejszy atak, to połączenie socjotechniki z atakiem technologicznym...
  - np., nakłonienie ofiary do zainstalowania konia trojańskiego..

Bądźcie ciągle czujni!!

(Mad-Eyed Moody)

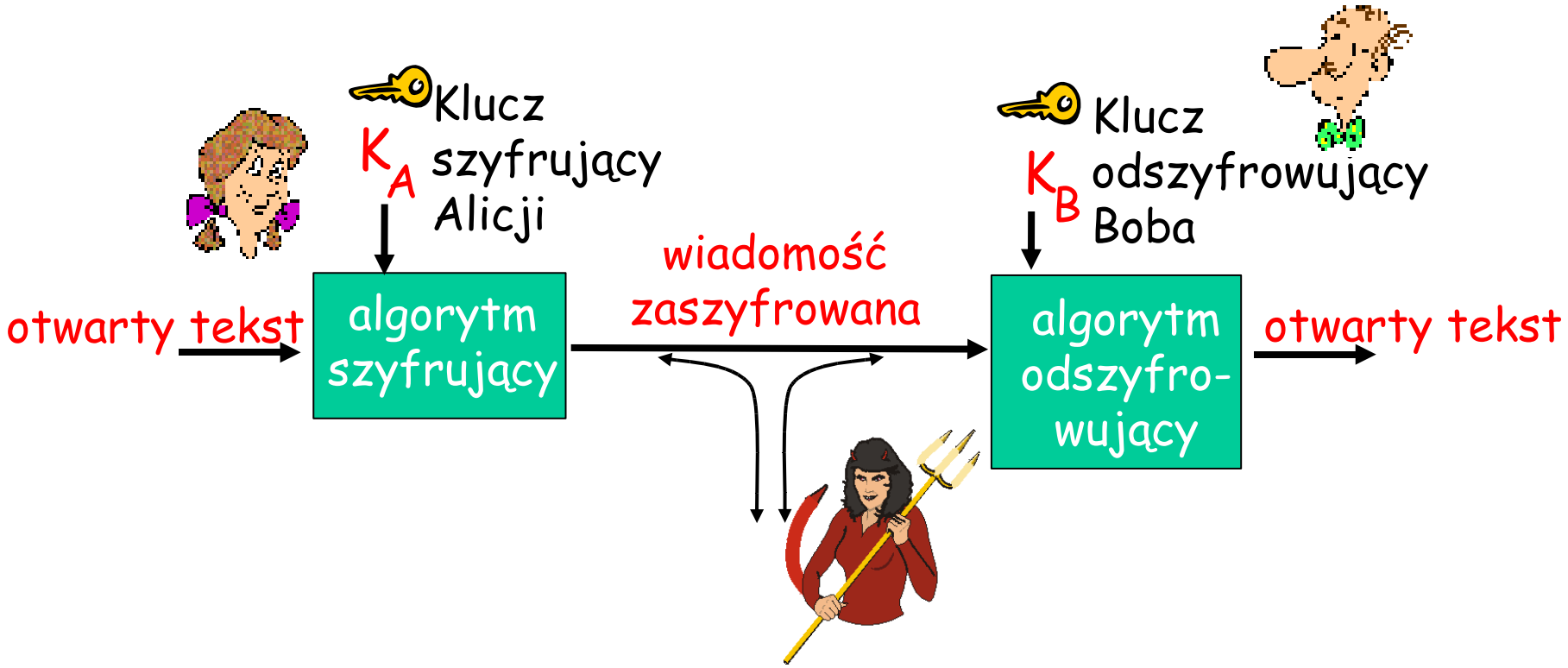
Mapa wykładu

- 7.1 Co to jest ochrona informacji?
- 7.2 Zasady działania kryptografii
- 7.3 Uwierzytelnienie
- 7.4 Integralność
- 7.5 Dystrybucja kluczy i certyfikacja
- 7.6 Kontrola dostępu: ściany ogniowe
- 7.7 Ataki i środki zaradcze
- 7.8 Wykrywanie włamań i cyfrowa kryminalistyka
- 7.9 Ochrona informacji w wielu warstwach

Krypto... -grafia, -analiza i NSA

- Od początku, konkurują ze sobą dwie dziedziny wiedzy:
  - kryptografia
  - kryptoanaliza
  - nowe dziedziny: steganografia, steganaliza
- NSA: globalna tajna służba?
- Palladium (& TCPA): globalne tylne drzwi?
  - zapewne będzie częścią MS Longhorn
  - obecna oficjalna nazwa:
    Next-Generation Secure Computing Base
    for Windows, „Trusted Computing"
  - tak naprawdę chodzi o ... DRM (*Digital Rights Management*)

Język kryptografii



kryptografia z kluczem symetrycznym:
klucze nadawcy, odbiorcy są *identyczne*

kryptografia z kluczem publicznym:
jeden klucz *publiczny*, drugi klucz *tajny* (prywatny)

Kryptografia z kluczem symetrycznym

szyfr zastępujący: zastępuje niektóre części przez inne

- szyfr monoalfabetyczny: zastępuje jeden znak przez inny

```
otwarty tekst:   abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
                 |                       |
                 v                       v
zaszyfrowany tekst:  mnbvcxzasdfghjklpoiuytrewq
```

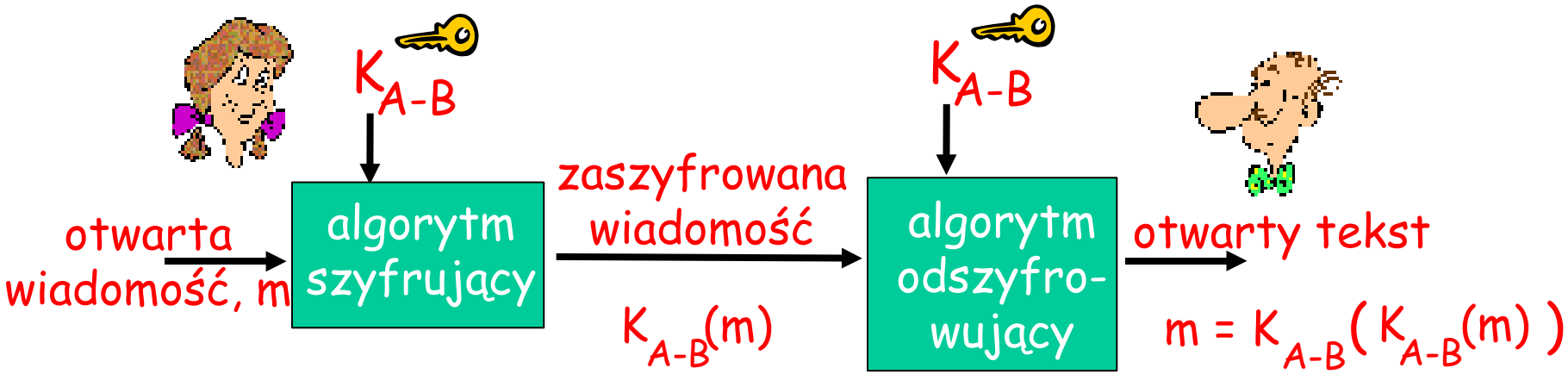
N.p.: `otwarty t.: Kocham cię, Bob. Alicja`

`zaszyfrowany t.: nkn. s gktc wky. mgsbc`

Pytanie: Jak trudno jest złamać ten prosty szyfr?:

- brutalnie (jak trudno?)
- w inny sposób?

Kryptografia z kluczem symetrycznym



kryptografia z kluczem symetrycznym: Bob i Alicja znają ten sam (symetryczny) klucz: K_{A-B}

- n.p., kluczem może być wzorzec zastępowania w monoalfabetycznym szyfrze zastępującym
- Pytanie: jak Bob i Alicja mają uzgodnić wartość klucza?

Idealnie bezpieczny szyfr

- Czy istnieje szyfr nie do złamania?
- Odpowiedź: tak!
  - wystarczy zaszyfrować wiadomość za pomocą klucza, który jest losowym ciągiem bitów tak samo długim jak wiadomość
  - algorytm szyfrujący: m XOR k
  - niestety: to nie jest praktyczne rozwiązanie...
  - Kryptografia: sztuka znajdowania szyfrów, które wykorzystują *krótkie* klucze i nie dają się łatwo złamać

Kryptografia symetryczna: DES

DES: Data Encryption Standard

- Amerykański standard szyfrowania [NIST 1993]
- 56-bitowy klucz symetryczny, otwarty tekst w blokach 64-bitowych
- Jak bezpieczny jest DES?
  - DES Challenge: wiadomość zaszyfrowana 56-bitowym kluczem ("Strong cryptography makes the world a safer place") została odszyfrowana (za pomocą brutalnej siły) w 4 miesiące
  - nie są znane "tylne drzwi" do odszyfrowywania
- zwiększanie bezpieczeństwa DES:
  - używanie 3 kluczy po kolei (3-DES)
  - łączenie bloków szyfru

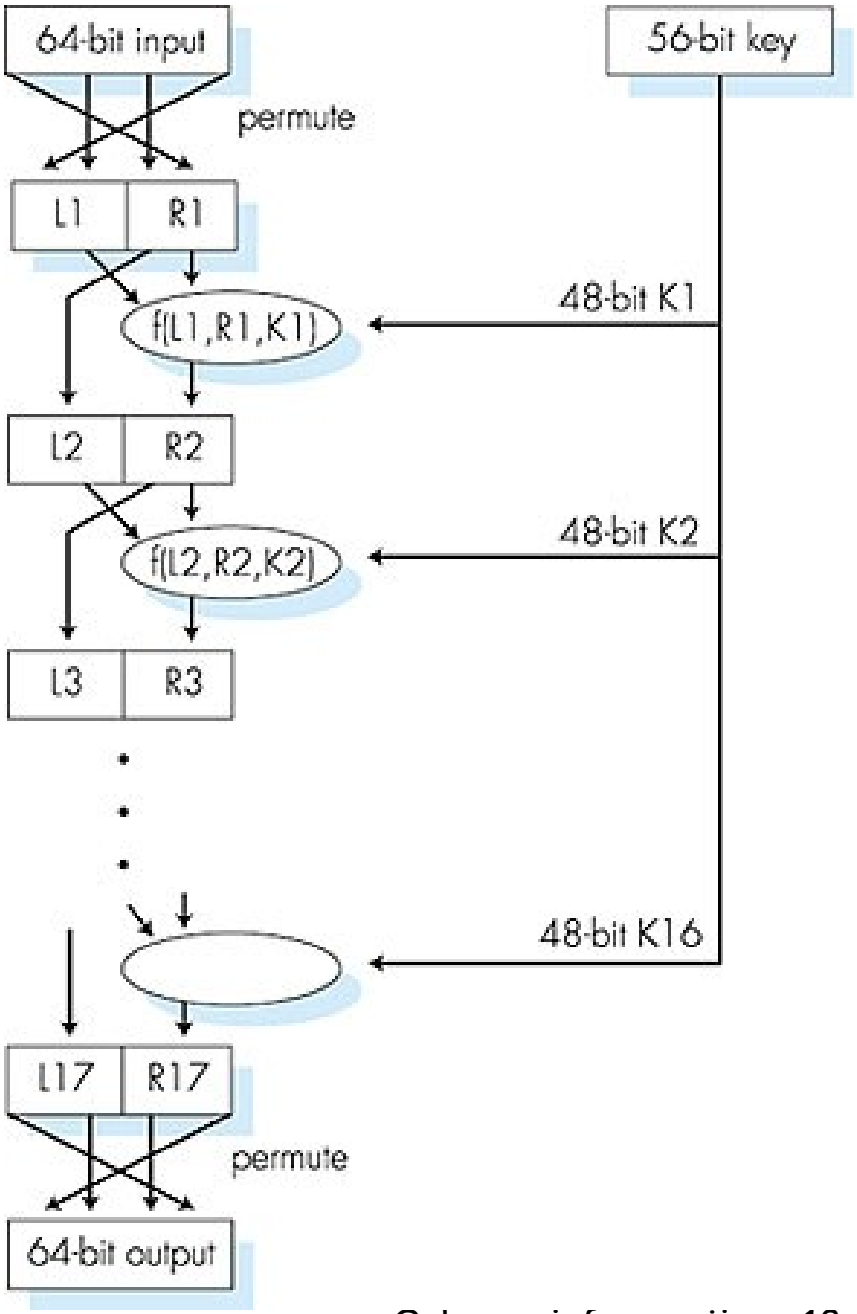
Kryptografia symetryczna: DES

Działanie DES

początkowa permutacja

16 identycznych "rund", każda używa innych 48 bitów klucza

końcowa permutacja



AES: Advanced Encryption Standard

- nowy (Listopad 2001) standard NIST kryptografii symetrycznej, zastępujący DES
- przetwarza dane w 128-bitowych blokach
- 128, 192, lub 256 bitowe klucze
- brutalne odszyfrowanie (wypróbowanie każdego klucza) dla wiadomości i długości klucza, które trwa 1 sekundę dla DES, trwa 149 bilionów lat dla AES

Kryptografia z kluczem publicznym

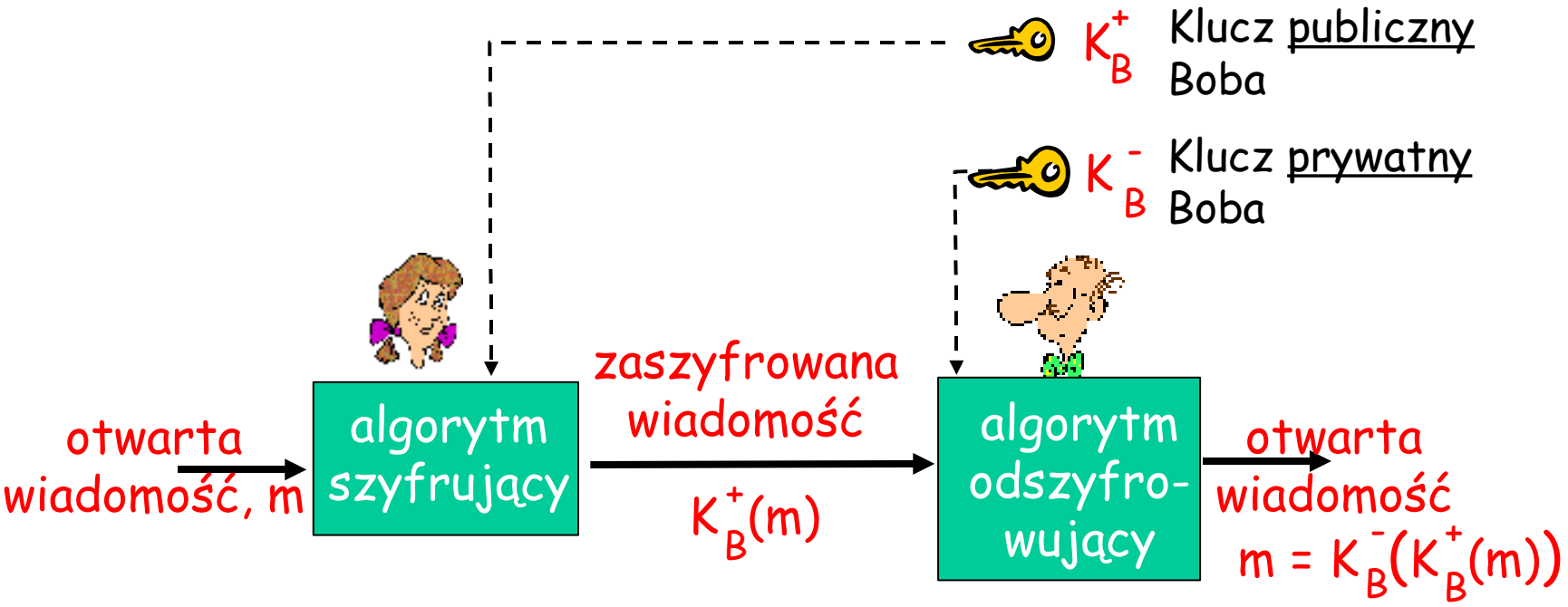
kryptografia symetryczna

- nadawca i odbiorca muszą znać wspólny, tajny klucz symetryczny
- Pytanie: jak uzgodnić wartość klucza (szczególnie, jeśli nadawca i odbiorca nigdy się nie "spotkali")?

kryptografia klucza publicznego

- radykalnie inne podejście [Diffie-Hellman 1976, RSA 1978]
- nadawca, odbiorca *nie* mają wspólnego klucza
- *publiczny* klucz nadawcy/odbiorcy jest znany *wszystkim*
- *prywatny* klucz jest znany tylko właścicielowi

Kryptografia klucza publicznego



Algorytmy szyfrujące z kluczem publicznym

Wymagania:

1. potrzeba $K_B^+(\cdot)$ i $K_B^-(\cdot)$ takich, że

$$K_B^-(K_B^+(m)) = m$$

2. znając klucz publiczny K_B^+, obliczenie klucza prywatnego K_B^- powinno być niemożliwe

RSA: algorytm Rivest, Shamir, Adleman

RSA: Wybór kluczy

1. Wybierz dwie duże liczby pierwsze *p*, *q*. (n.p., po 1024 bity każda)

2. Oblicz *n* = *pq*, *z* = *(p-1)(q-1)*

3. Wybierz *e* (przy tym *e<n)* które nie ma takich samych podzielników (>1) co z. (*e*, *z* są "względnie pierwsze").

4. Wybierz *d* takie, że *ed-1* jest podzielne przez *z*. (innymi słowy: *ed* mod *z* = *1*).

5. Klucz *publiczny* to *(n,e)*. Klucz *prywatny* to *(n,d)*.

K_B^+ K_B^-

RSA: Szyfrowanie, odszyfrowywanie

0. Mając (n,e) oraz (n,d) obliczone jak powyżej

1. Żeby zaszyfrować ciąg bitów, m, oblicz
   $c = m^e \bmod n$ (resztę z dzielenie m^e przez n)

2. Żeby odszyfrować ciąg bitów, c, oblicz
   $m = c^d \bmod n$ (resztę z dzielenia c^d przez n)

Czary z mleka!

$$m = (\underbrace{m^e \bmod n}_{c})^d \bmod n$$

Przykład RSA:

Bob wybiera *p=5, q=7*. Then *n=35, z=24*.

e=5 (tak że *e, z* względnie pierwsze).

d=29 (tak że *ed-1* podzielne przez z.

	litera	m	m^e	$c = m^e \bmod n$
szyfrowanie:	l	12	1524832	17

	c	c^d	$m = c^d \bmod n$	litera
odszyfrowywanie:	17	481968572106750915091411825223071697	12	l

Praktyczne problemy przy implementacji RSA

- Szukanie dużych liczb pierwszych
  - testy na liczby pierwsze
- Jak sprawdzić, że *e* jest względnie pierwsze z *z*?
  - algorytm Euklidesa
- Jak obliczyć *d* z *e*?
  - zmodyfikowany algorytm Euklidesa
- Jak podnieść liczbę do bardzo dużej potęgi?
  - arytmetyka dowolnej precyzji

RSA: Dlaczego $m = (m^e \bmod n)^d \bmod n$

Pożyteczny wynik z teorii liczb: Jeśli p,q są liczbami pierwszymi i $n = pq$, to:

$$x^y \bmod n = x^{y \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n$$

$$(m^e \bmod n)^d \bmod n = m^{ed} \bmod n$$

$$= m^{ed \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n$$

(używając wyniku opisanego powyżej)

$$= m^1 \bmod n$$

(ponieważ wybraliśmy ed podzielne przez $(p-1)(q-1)$ z resztą 1)

$$= m$$

Dlaczego RSA trudno odszyfrować?

- Przecież w kluczu publicznym znane jest n=pq? Czy nie da się z niego poznać p,q?
- Odpowiedź: nie tak łatwo...
  - problem poznania wszystkich liczb pierwszych, których iloczyn równy jest danej liczbie, to *faktoryzacja*
  - Faktoryzacja jest problemem NP-trudnym (bardzo złożonym obliczeniowo)
  - Odpowiedź: da się złamać RSA, ale trwa to bardzo długo...
    - jeśli P=NP, to może kryptografia klucza publicznego przestanie być skuteczna

RSA: inna ważna własność

Następująca własność będzie *bardzo* ważna później:

$$\underbrace{K_B^-(K_B^+(m))}_{\text{użyj najpierw klucza publicznego, potem prywatnego}} = m = \underbrace{K_B^+(K_B^-(m))}_{\text{użyj najpierw klucza prywatnego, potem publicznego}}$$

Wynik jest ten sam!

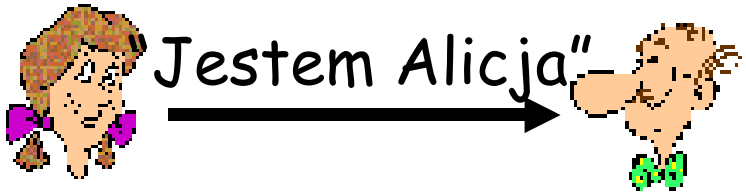
Mapa wykładu

- 7.1 Co to jest ochrona informacji?
- 7.2 Zasady działania kryptografii
- 7.3 Uwierzytelnienie
- 7.4 Integralność
- 7.5 Dystrybucja kluczy i certyfikacja
- 7.6 Kontrola dostępu: ściany ogniowe
- 7.7 Ataki i środki zaradcze
- 7.8 Wykrywanie włamań i cyfrowa kryminalistyka
- 7.9 Ochrona informacji w wielu warstwach

Uwierzytelnienie

Cel: Bob chce, żeby Alicja "udowodniła" jemu swoją tożsamość

Protokół uwierz1.0: Alicja mówi: "Jestem Alicja".

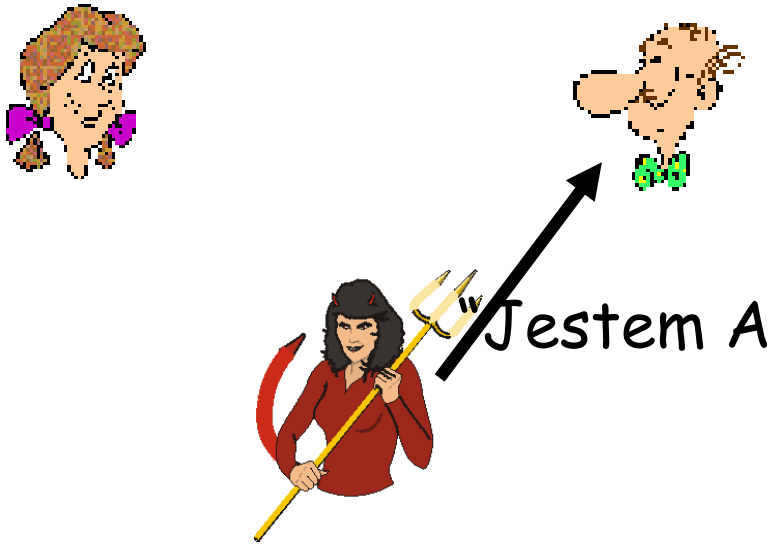


Scenariusz błędny??

Uwierzytelnienie

Cel: Bob chce, żeby Alicja "udowodniła" jemu swoją tożsamość

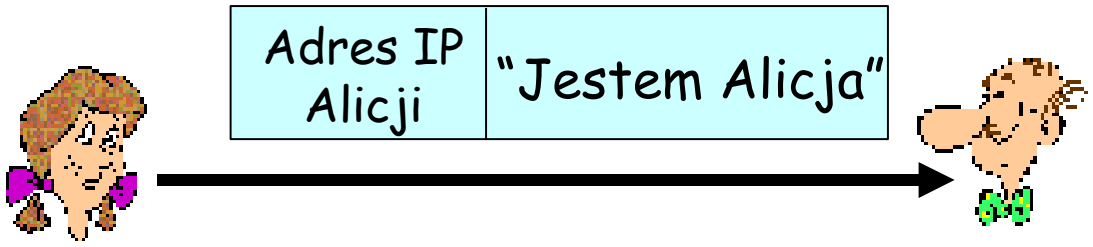
Protokół uwierz1.0: Alicja mówi: "Jestem Alicja".



w sieci,
Bob nie "widzi" Alicji,
zatem Trudy
po prostu oświadcza,
że jest Alicją

Uwierzytelnienie: druga próba

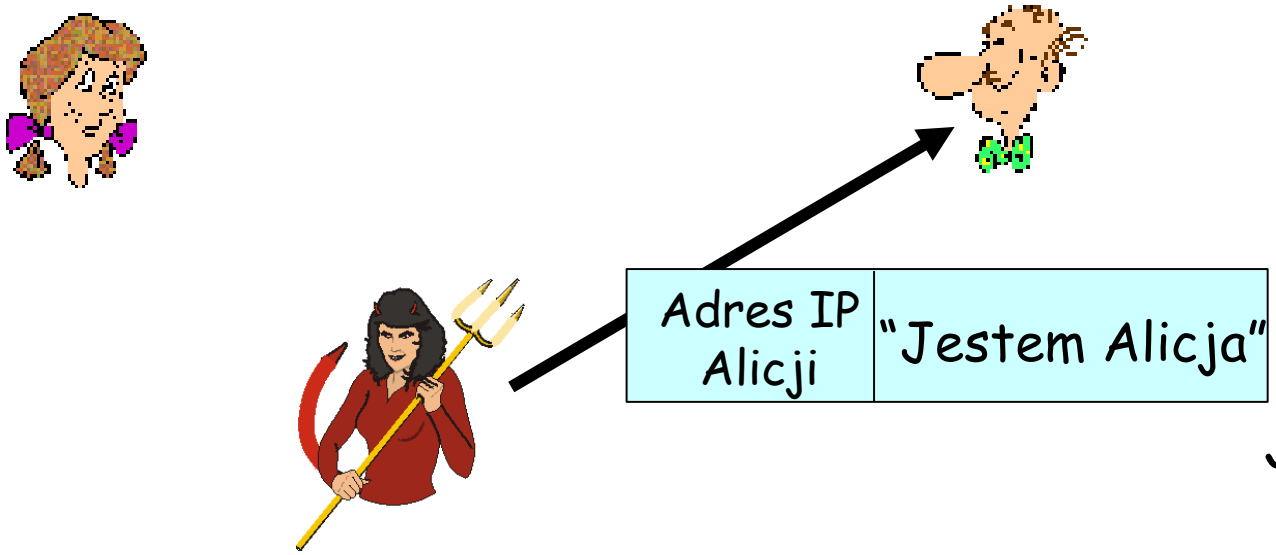
Protokół uwierz2.0: Alicja mówi "Jestem Alicja" w pakiecie IP, który zawiera jej adres IP



Scenariusz błędny??

Uwierzytelnienie: druga próba

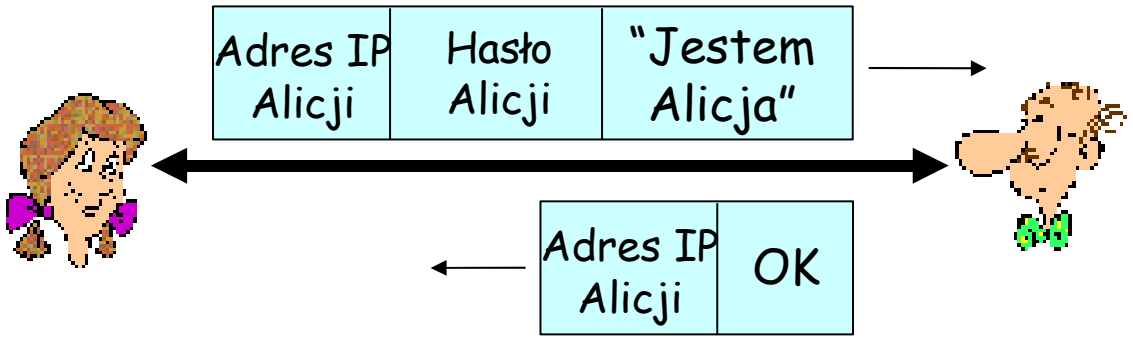
Protokół uwierz2.0: Alicja mówi "Jestem Alicja" w pakiecie IP, który zawiera jej adres IP



Trudy może stworzyć pakiet, w którym podaje adres IP Alicji jako adres źródła (IP spoofing")

Uwierzytelnienie: kolejna próba

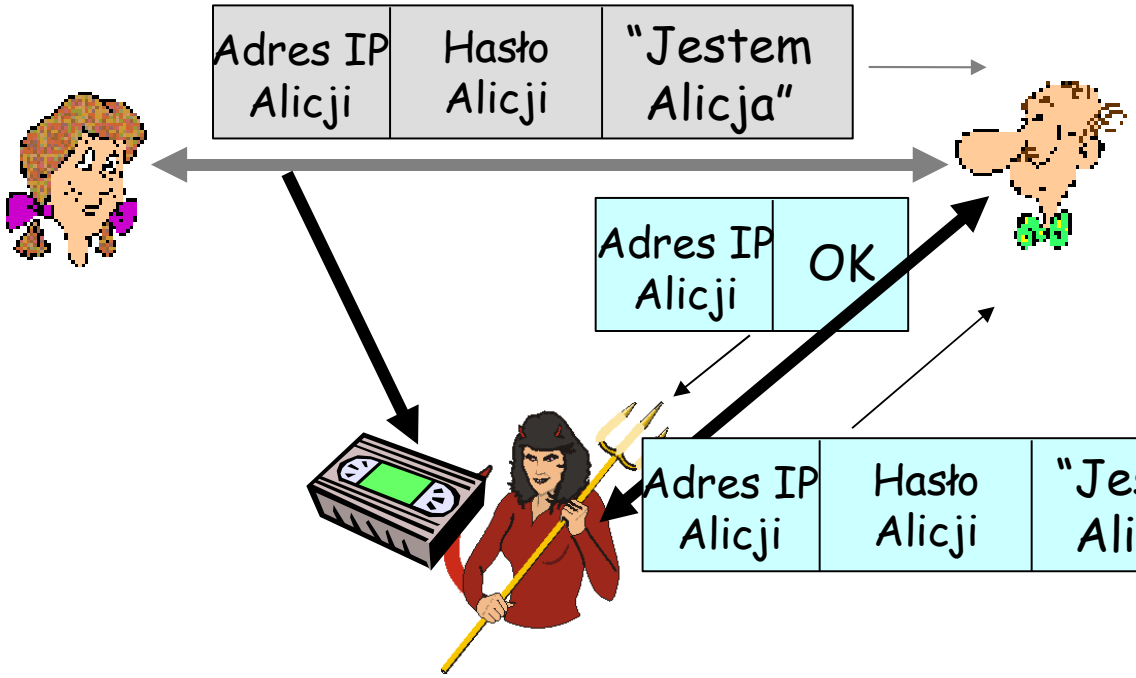
Protokół uwierz3.0: Alicja mówi "Jestem Alicja" i wysyła swoje tajne hasło, żeby "udowodnić" tożsamość.



Scenariusz błędny??

Uwierzytelnienie: kolejna próba

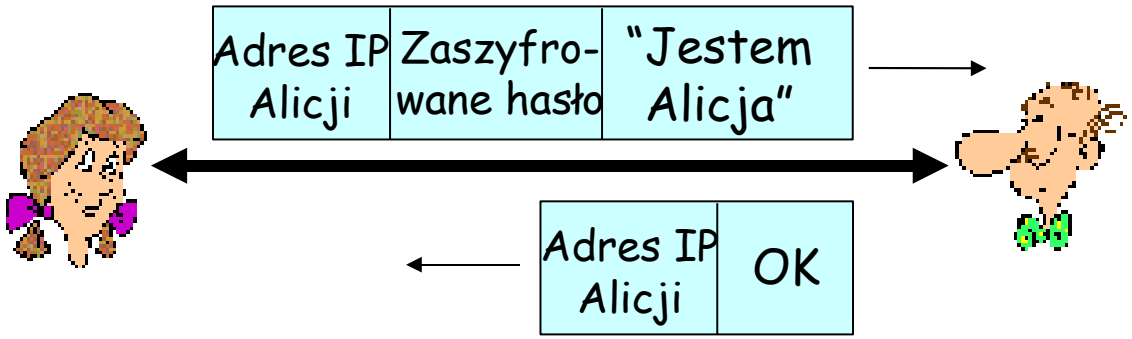
Protokół uwierz3.0: Alicja mówi "Jestem Alicja" i wysyła swoje tajne hasło, żeby "udowodnić" tożsamość.



Atak odtwarzający: Trudy nagrywa pakiet Alicji i później odtwarza go dla Boba

Uwierzytelnienie: jeszcze jedna próba

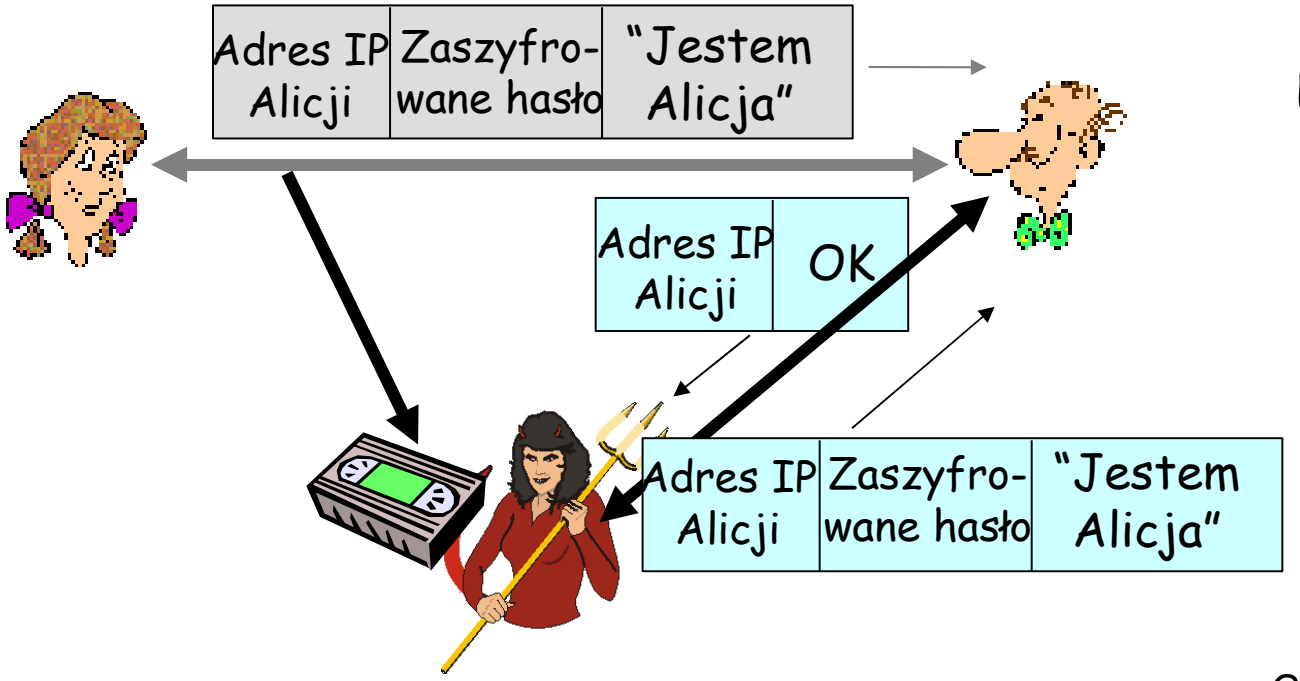
Protokół uwierz3.1: Alicja mówi "Jestem Alicja"
i wysyła swoje *zaszyfrowane* tajne hasło,
żeby "udowodnić" tożsamość.



Scenariusz błędny??

Uwierzytelnienie: jeszcze jedna próba

Protokół uwierz3.1: Alicja mówi "Jestem Alicja"
i wysyła swoje *zaszyfrowane* tajne hasło,
żeby "udowodnić" tożsamość.



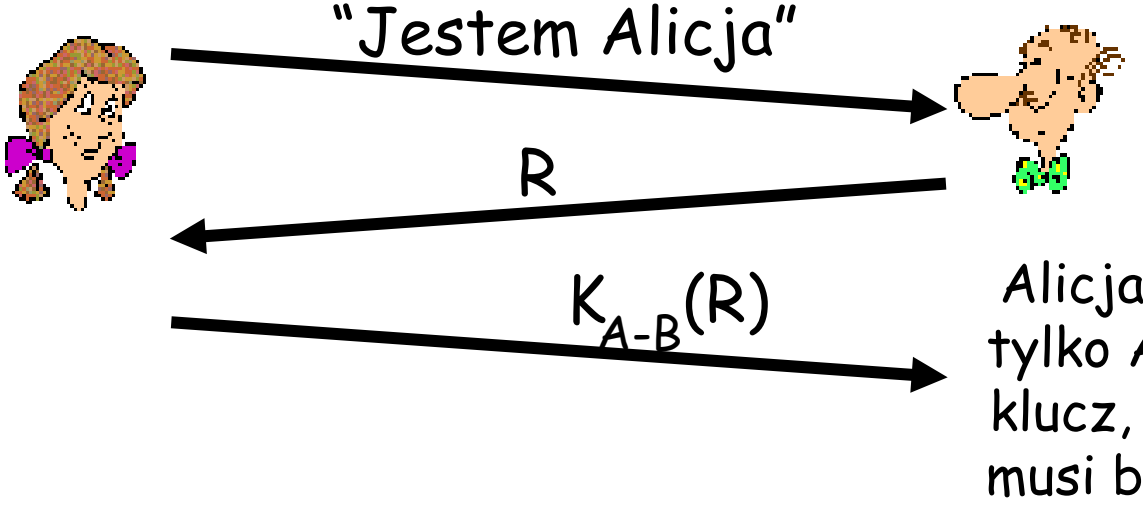
nagrywanie i odtwarzanie ciągle działa!

Uwierzytelnienie: ponowna próba

Cel: uniknąć ataku odtwarzającego

Identyfikator jednorazowy: liczba (R) używana *raz w życiu*

uwierz4.0: żeby sprawdzić, czy Alicja "żyje", Bob wysyła jej id. jednorazowy, R. Alicja musi odesłać R, zaszyfrowane wspólnym kluczem symetrycznym



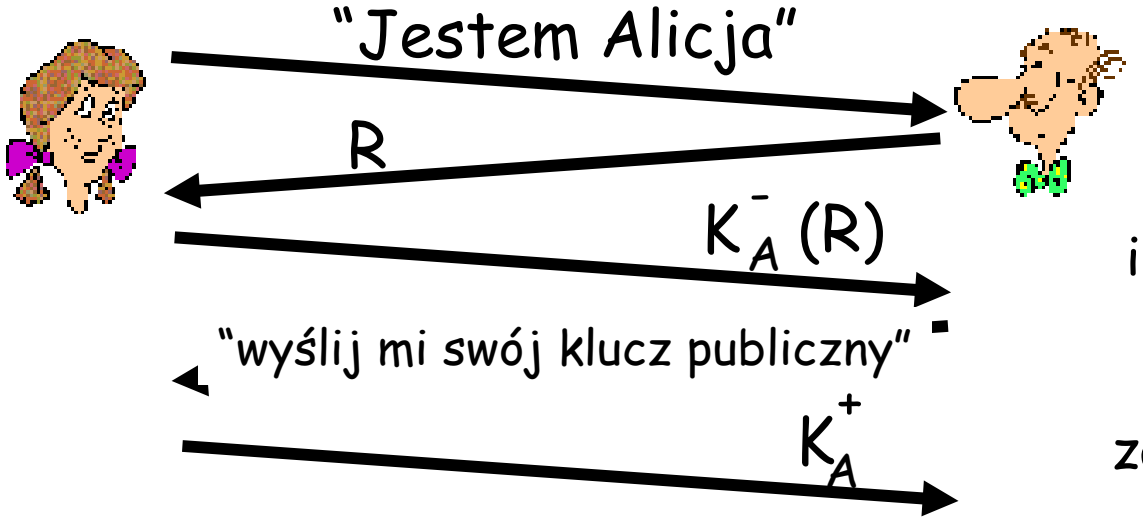
Błędy, wady?

Uwierzytelnienie: uwierz5.0

uwierz4.0 wymaga wspólnego klucza symetrycznego

- czy możemy uwierzytelniać za pomocą kryptografii klucza publicznego?

uwierz5.0: używa id. jednorazowego, kryptografii klucza publicznego



Bob oblicza

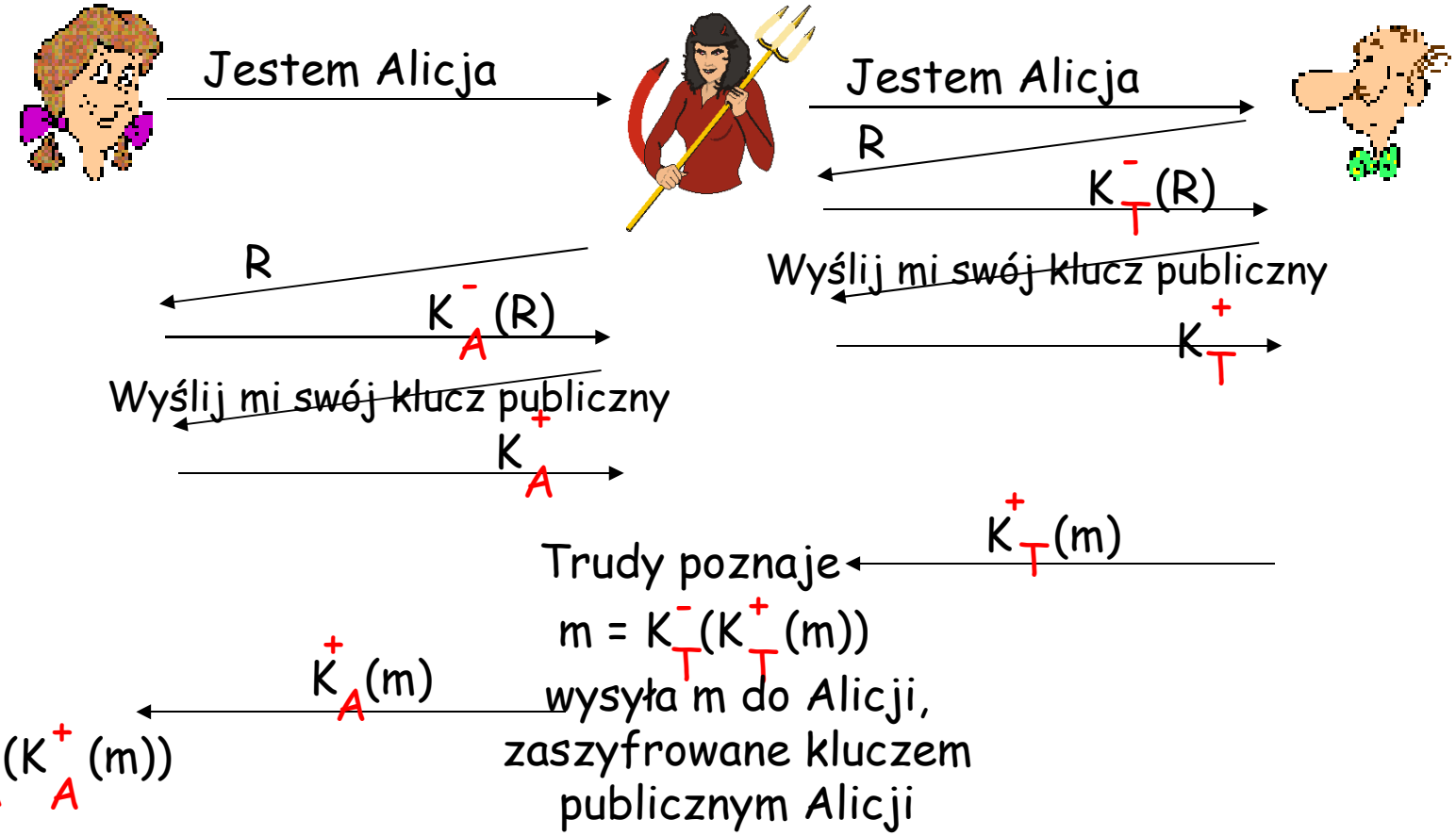
$K_A^+(K_A^-(R)) = R$

i wie, że tylko Alicja może znać klucz prywatny, który zaszyfrował R tak, że

$K_A^+(K_A^-(R)) = R$

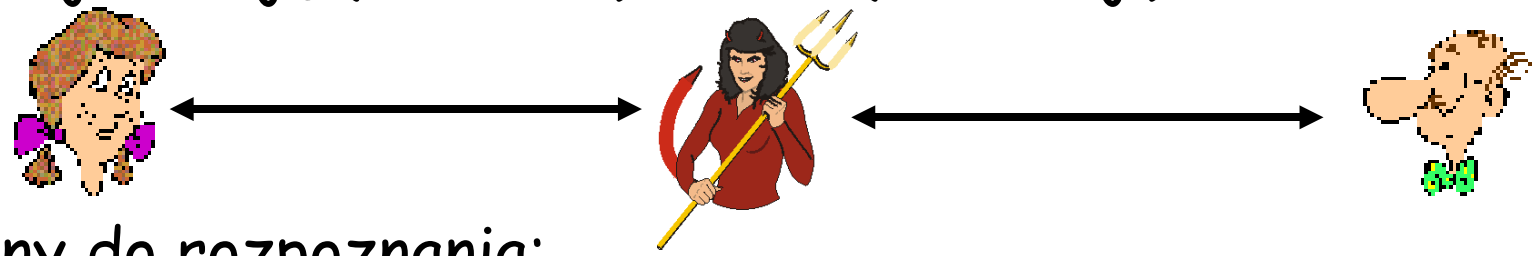
uwierz5.0: luka w bezpieczeństwie

Atak pośrednika (ang. *man in the middle*): Trudy udaje Alicję (dla Boba) i Boba (dla Alicji)



"Atak na RSA"

Atak pośrednika (ang. *man in the middle*): Trudy udaje Alicję (dla Boba) i Boba (dla Alicji)



Trudny do rozpoznania:

- Bob otrzymuje wszystko, co Alicja wysłała, i na odwrót. (dzięki temu Bob, Alicja mogą się spotkać później i wiedzą, o czym rozmawiali)
- rzecz w tym, że Trudy też zna wszystkie wiadomości!
- Problem polega na tym, że Bob "poznał" klucz publiczny Alicji w niebezpieczny sposób
- Problem dotyczy wszystkich zastosowań kryptografii z kluczem publicznym

Mapa wykładu

- 7.1 Co to jest ochrona informacji?
- 7.2 Zasady działania kryptografii
- 7.3 Uwierzytelnienie
- 7.4 Integralność
- 7.5 Dystrybucja kluczy i certyfikacja
- 7.6 Kontrola dostępu: ściany ogniowe
- 7.7 Ataki i środki zaradcze
- 7.8 Wykrywanie włamań i cyfrowa kryminalistyka
- 7.9 Ochrona informacji w wielu warstwach