Systemy informatyczne

Podstawy kryptologii

dr inż. Jacek Czerniak
jczerniak@ukw.edu.pl

Bydgoszcz, 2014

Zakres tematyczny

- Wprowadzenie do kryptologii
- Podpis elektroniczny
- Typy algorytmów i tryby ich pracy
- Metody uwierzytelniania podpisów
- Sprzętowe moduły kryptograficzne
- Matematyczne podstawy kryptologii

Literatura

- Bruce Schneier, „Kryptografia dla praktyków”, WNT 2002
- Dorothy Elisabeth Robling Denning, „Kryptografia i ochrona danych”, WNT 1993
- William Stallings, „Ochrona danych w sieci i intersieci”, WNT 1997
- Miroslaw Kutylowski, Willy-B. Strothmann, „Kryptografia. Teoria i praktyka zabezpieczania systemów komputerowych”,
- LUPUS 1998
- Alfred J.Menezes, Paul C.van Oorschot, Scott A.Vanstone, „Handbook of Applied Cryptography”, CRC Press 1997

Warunki zaliczenia ZO

- Zaliczenie laboratorium + Test „20”:
  - 20 pytań w 20 min.
  - Cztery odpowiedzi, jedna dobra
  - Tylko punkty dodatnie
  - Pułap zaliczenia 60% czyli 12 z 20 pkt.

Wprowadzenie do
Szyfrowania i podpisu cyfrowego

dr inż. Jacek Czerniak
www.jczerniak.ukw.edu.pl
Kierunek studiów: IB
Bydgoszcz, 2013

Kryptologia, kryptografia, kryptoanaliza

- *Kryptografia* - metody matematyczne realizacji usług poufności, integralności, uwierzytelniania (autentyczności i niezaprzeczalności)
- *Kryptoanaliza* - metody matematyczne przełamywania, osłabiania, pokonywania usług realizowanych metodami kryptograficznymi

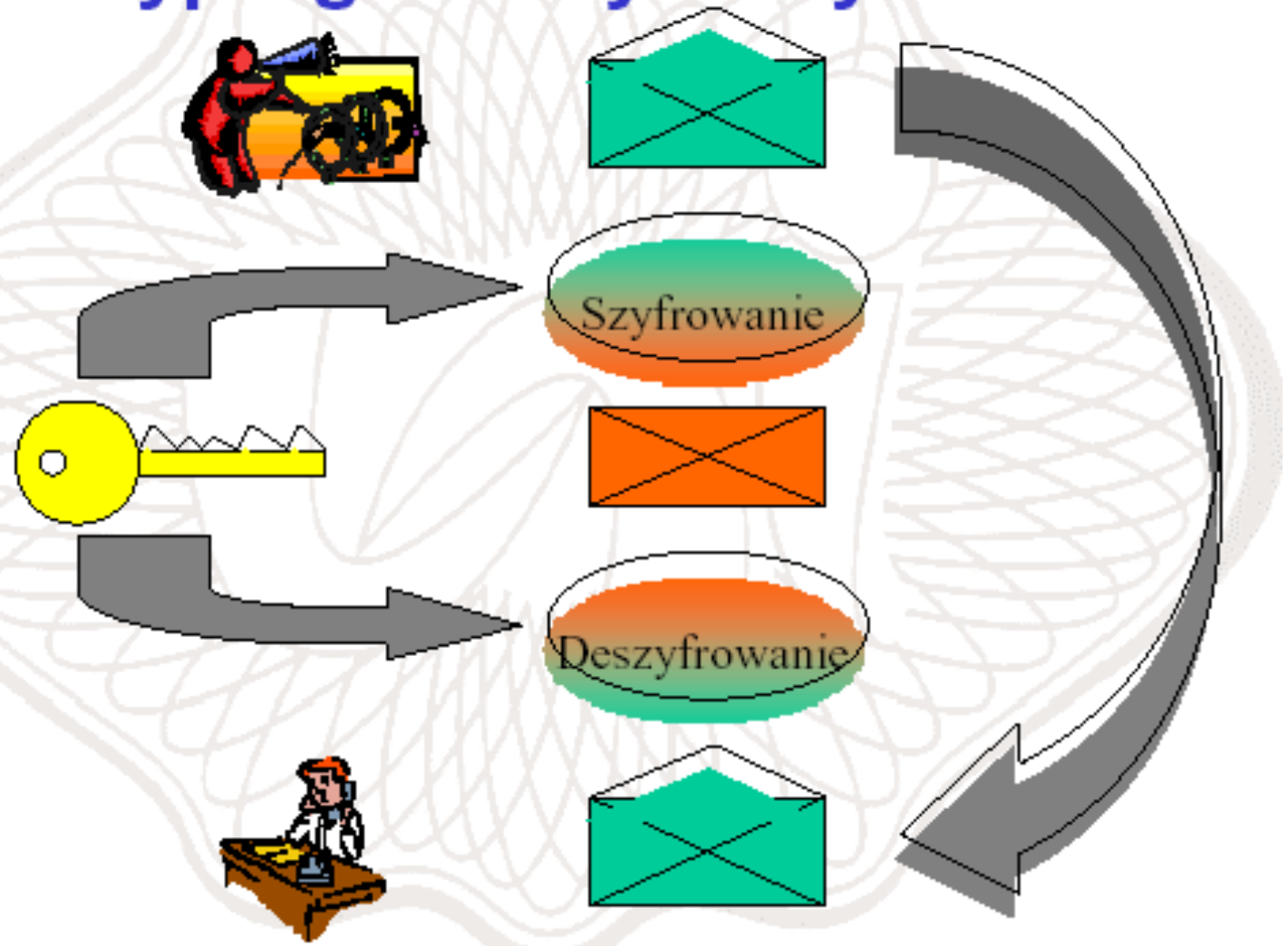
Pojęcia podstawowe

- Prywatność, poufność *(ang.privacy, confidentiality)*
- Integralność danych *(ang.data integrity)*
- Uwierzytelnianie podmiotów, identyfikacja *(ang.entity authentication, identification)*
- Uwierzytelnianie wiadomości, uwierzytelnianie pochodzenia danych *(ang.message authentication)*
- Podpis cyfrowy *(ang.digital signature)*
- Certyfikacja *(ang.certification)*

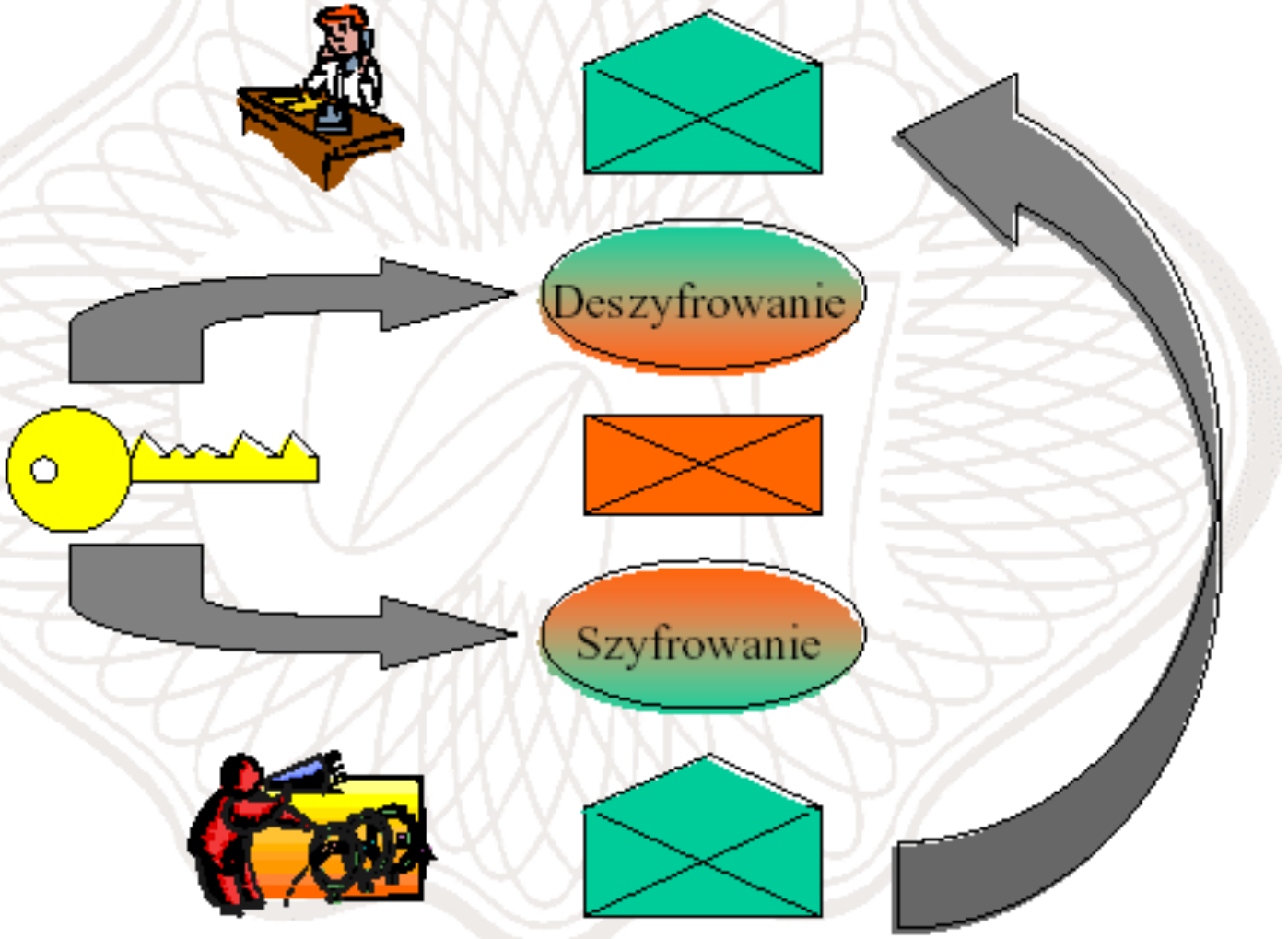
Pojęcia podstawowe

- Unieważnienie *(ang.revocation)*
- Znakowanie czasu *(ang.time stamping)*
- Poświadczanie *(ang.witnessing)*
- Niezaprzeczalność *(ang.non-repudiation)*
- Szyfrowanie *(ang.encryption, ciphering)*
- Deszyfrowanie *(ang.decryption, deciphering)*
- Klucz kryptograficzny *(ang.cryptographic key)*

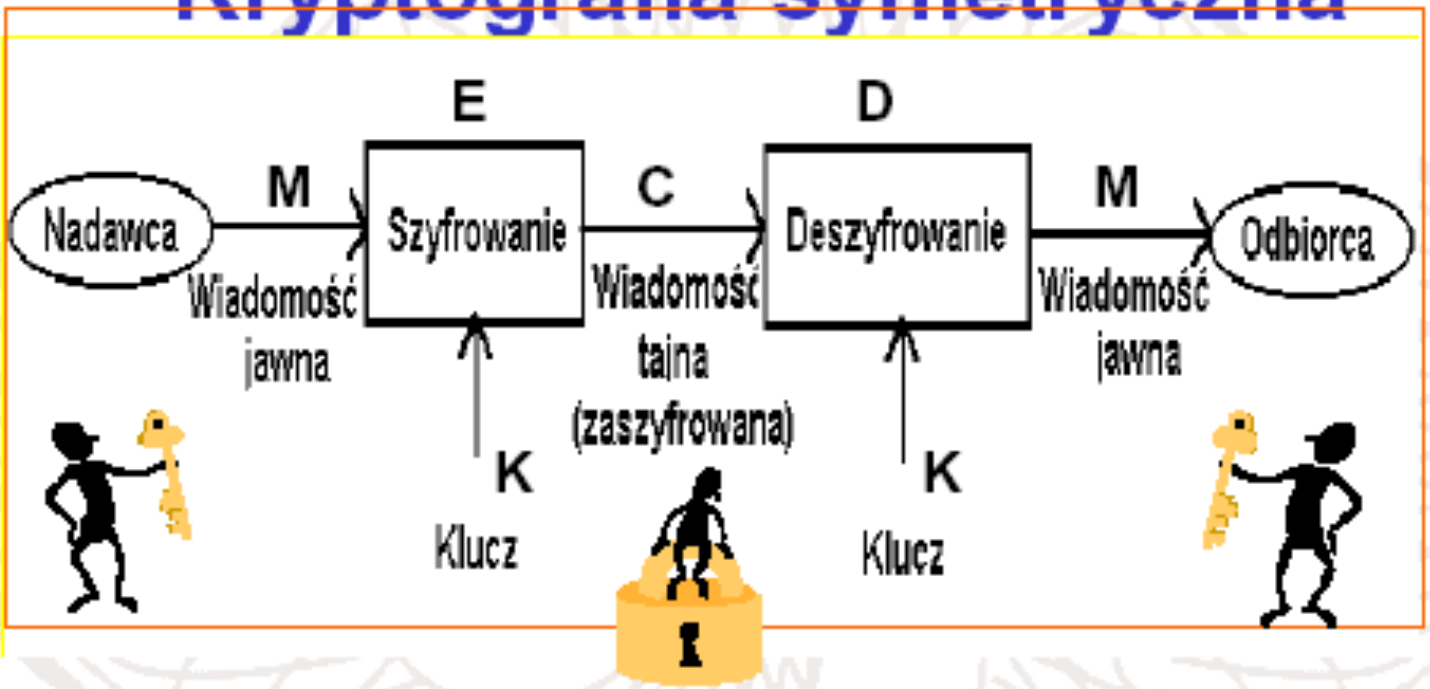
Kryptografia symetryczna



Kryptografia symetryczna



Kryptografia symetryczna



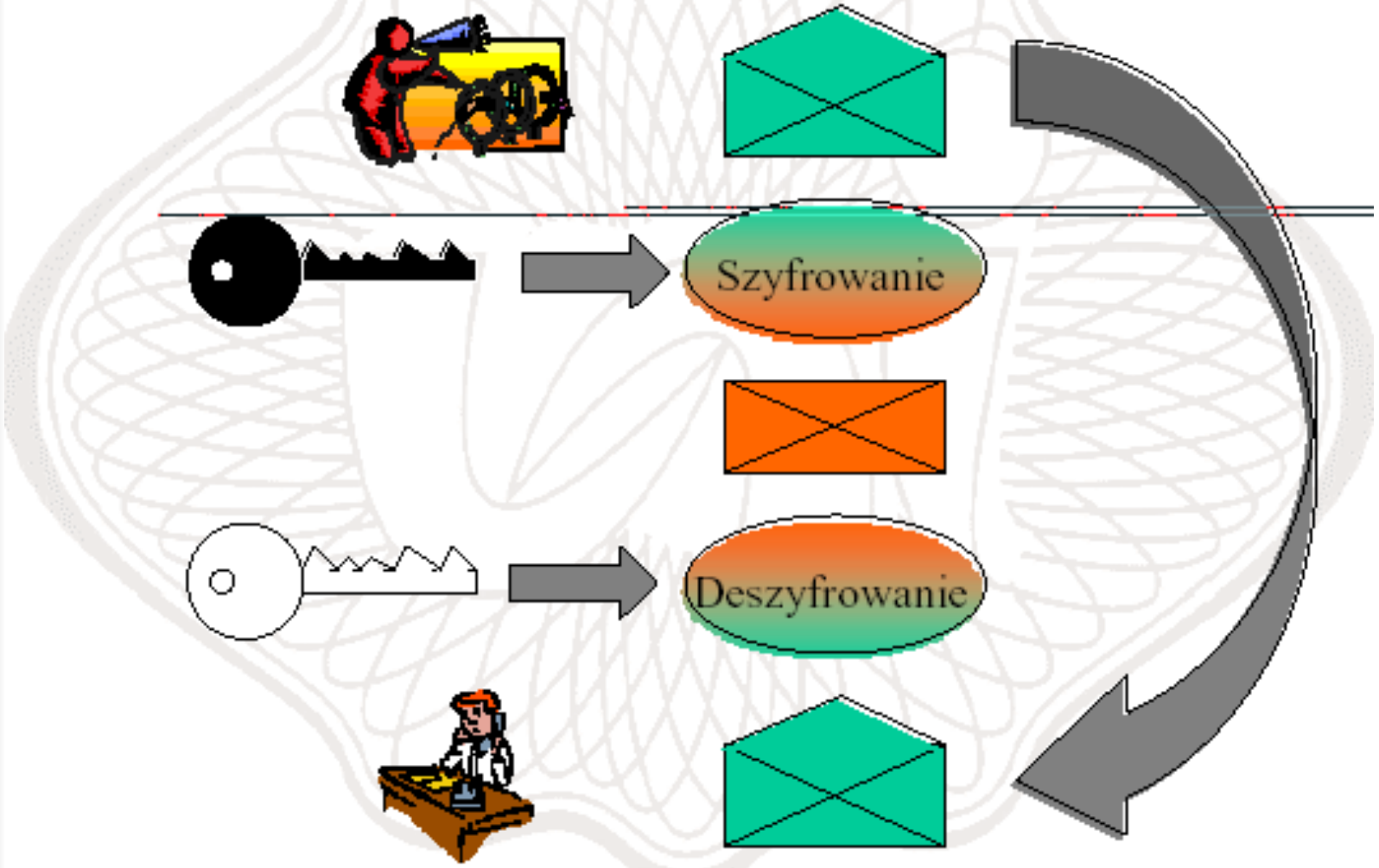
$$E_K(M) = C$$

$$D_K(C) = M$$

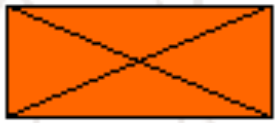
dla wszystkich dopuszczalnych M :

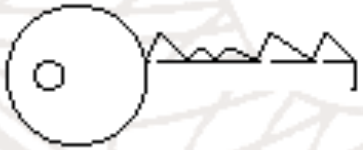
$$D_K(E_K(M)) = M$$

Kryptografia asymetryczna

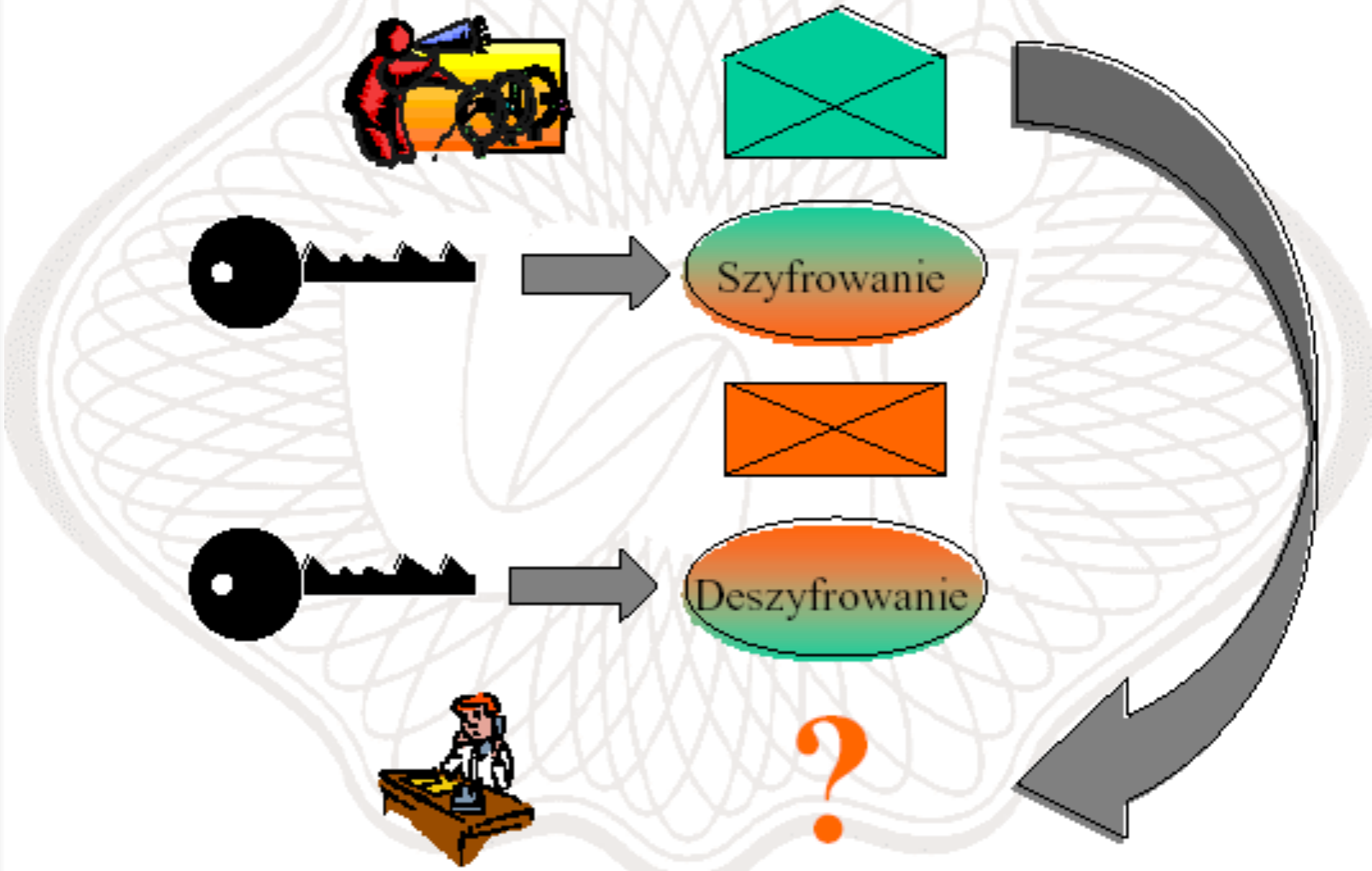


Kryptografia asymetryczna

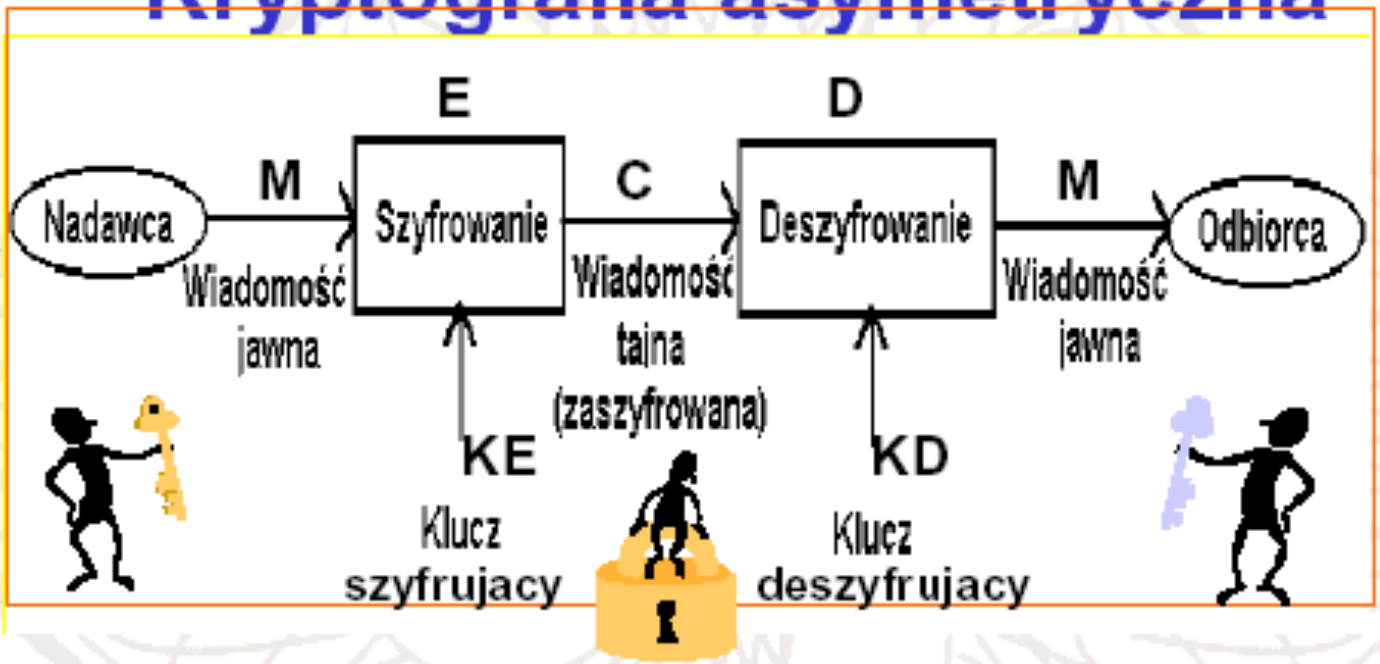




Kryptografia asymetryczna



Kryptografia asymetryczna



$E_{KE}(M) = C$

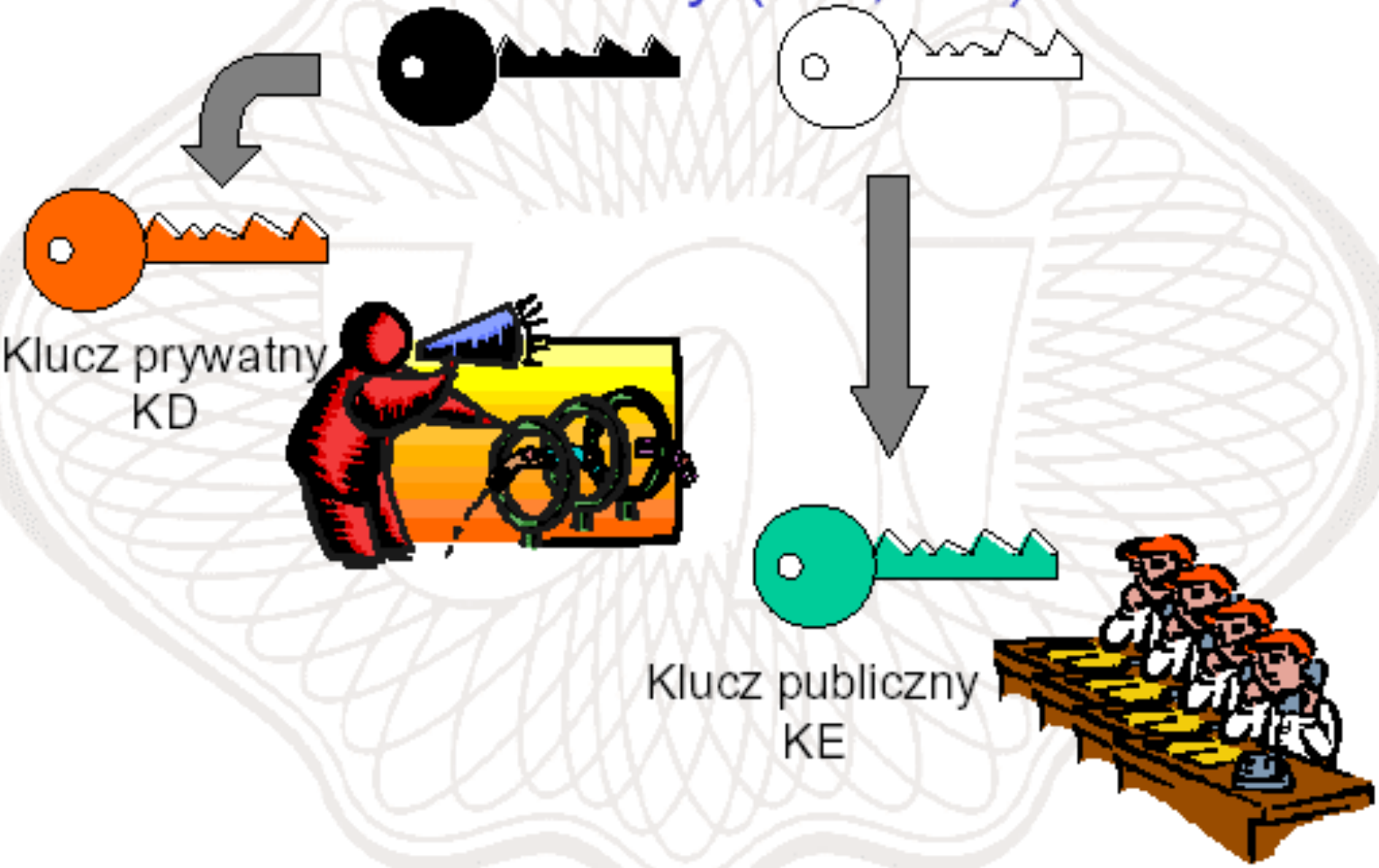
$D_{KD}(C) = M$

dla wszystkich dopuszczalnych M:

$D_{KD}(E_{KE}(M)) = M$

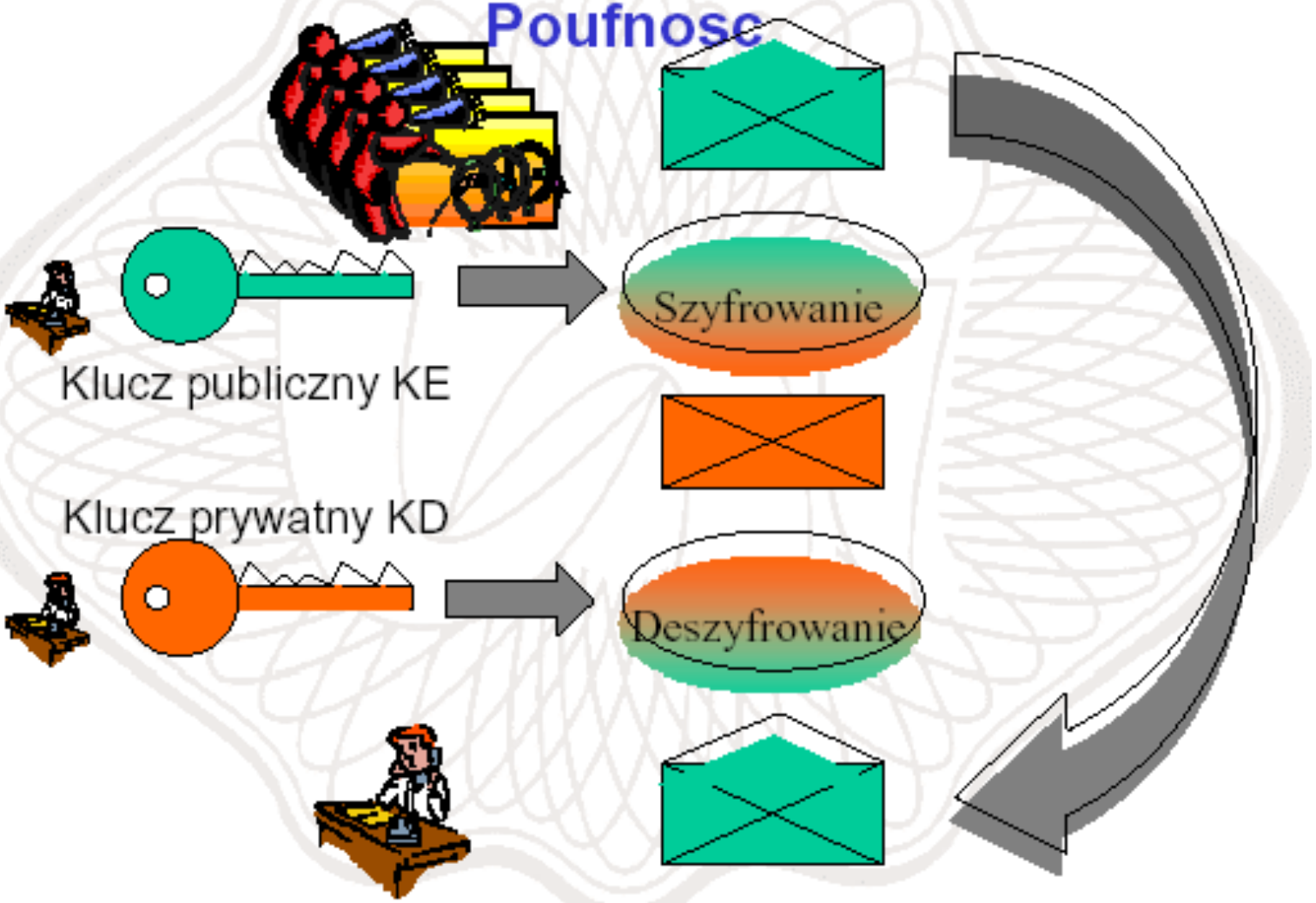
Kryptografia asymetryczna

Para kluczy (KD, KE)



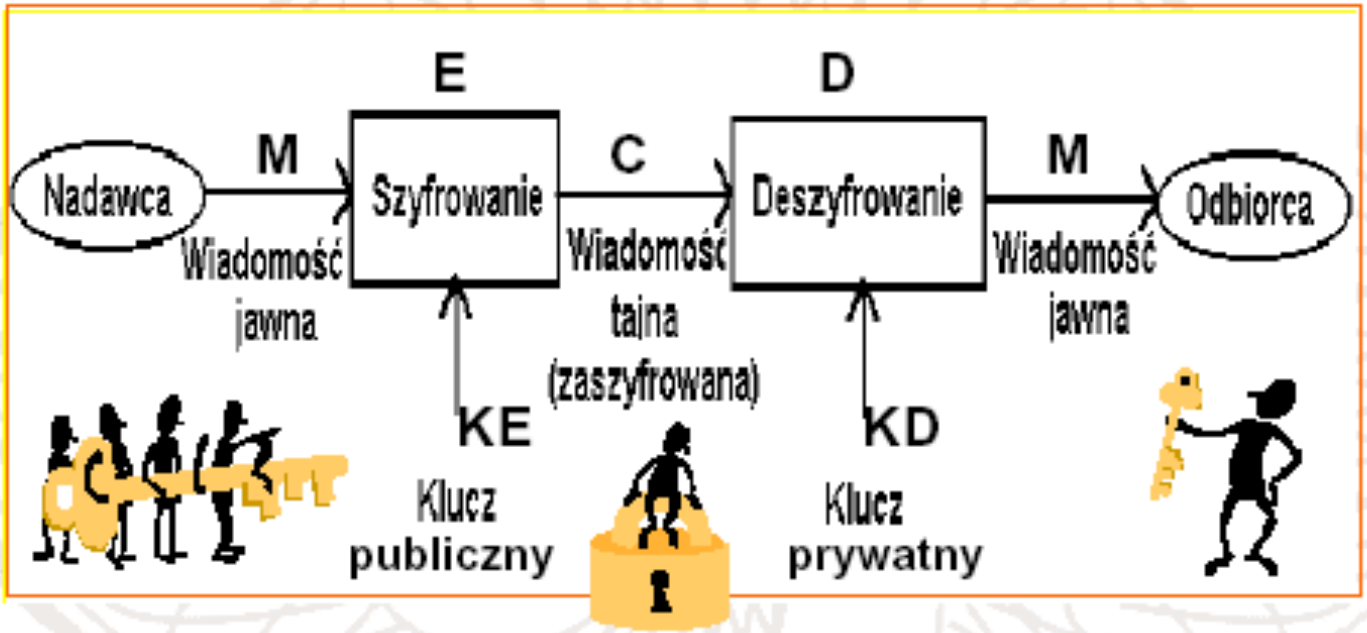
Kryptografia asymetryczna

Poufnosc



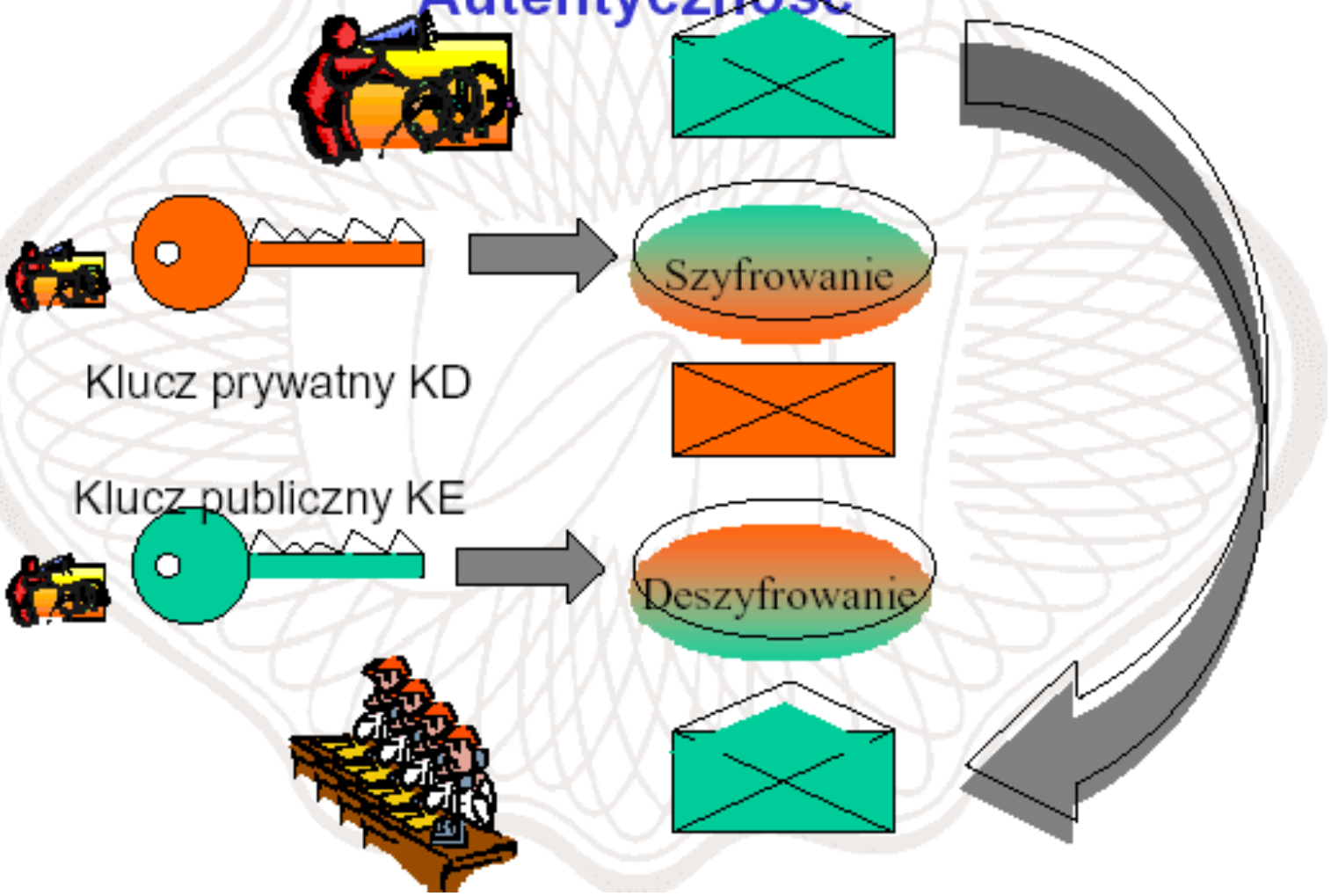
Kryptografia asymetryczna

Poufnosc



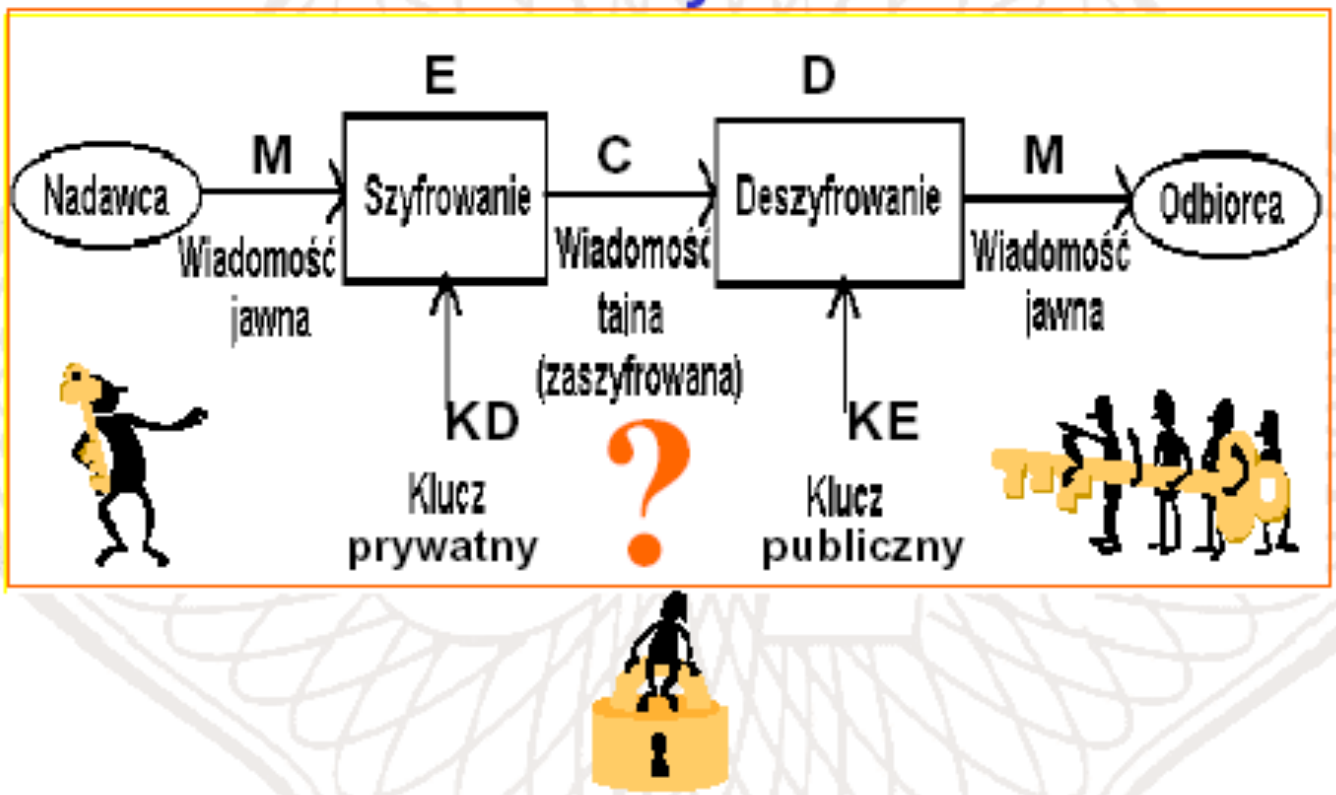
Kryptografia asymetryczna

Autentycznosc



Kryptografia asymetryczna

Autentycznosc

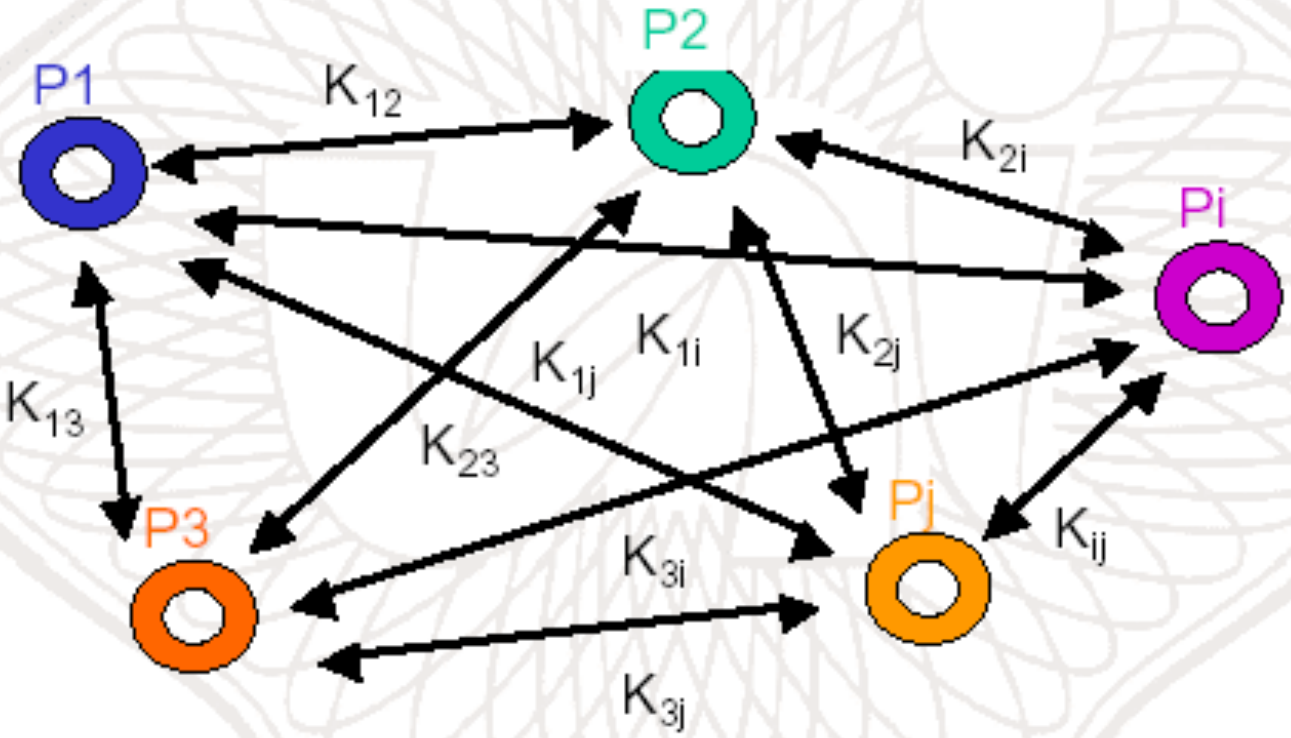


Czy algorytm szyfrujacy powinien byc tajny ?

August Kerckoffs (1835- 1903)

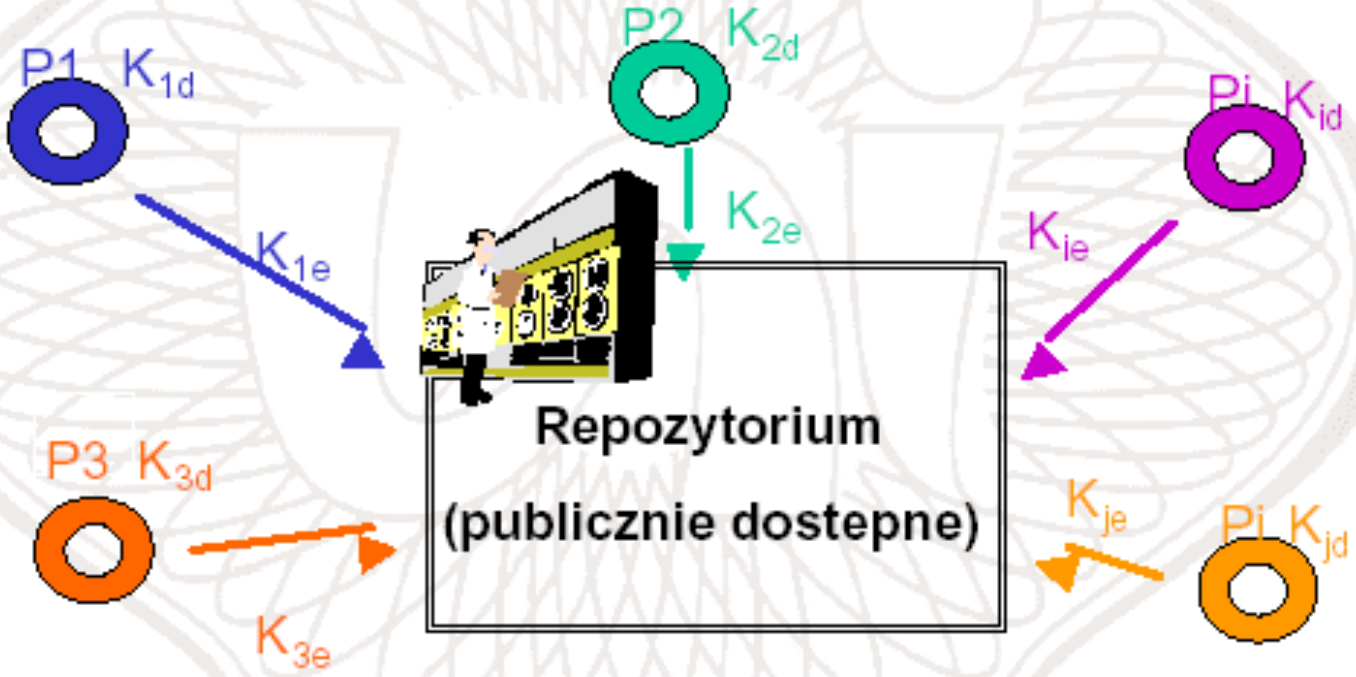
"Bezpieczenstwo szyfru musi zalezec calkowicie od (bezpieczenstwa) klucza kryptograficznego" !!!!

Liczba kluczy w systemie kryptografii symetrycznej



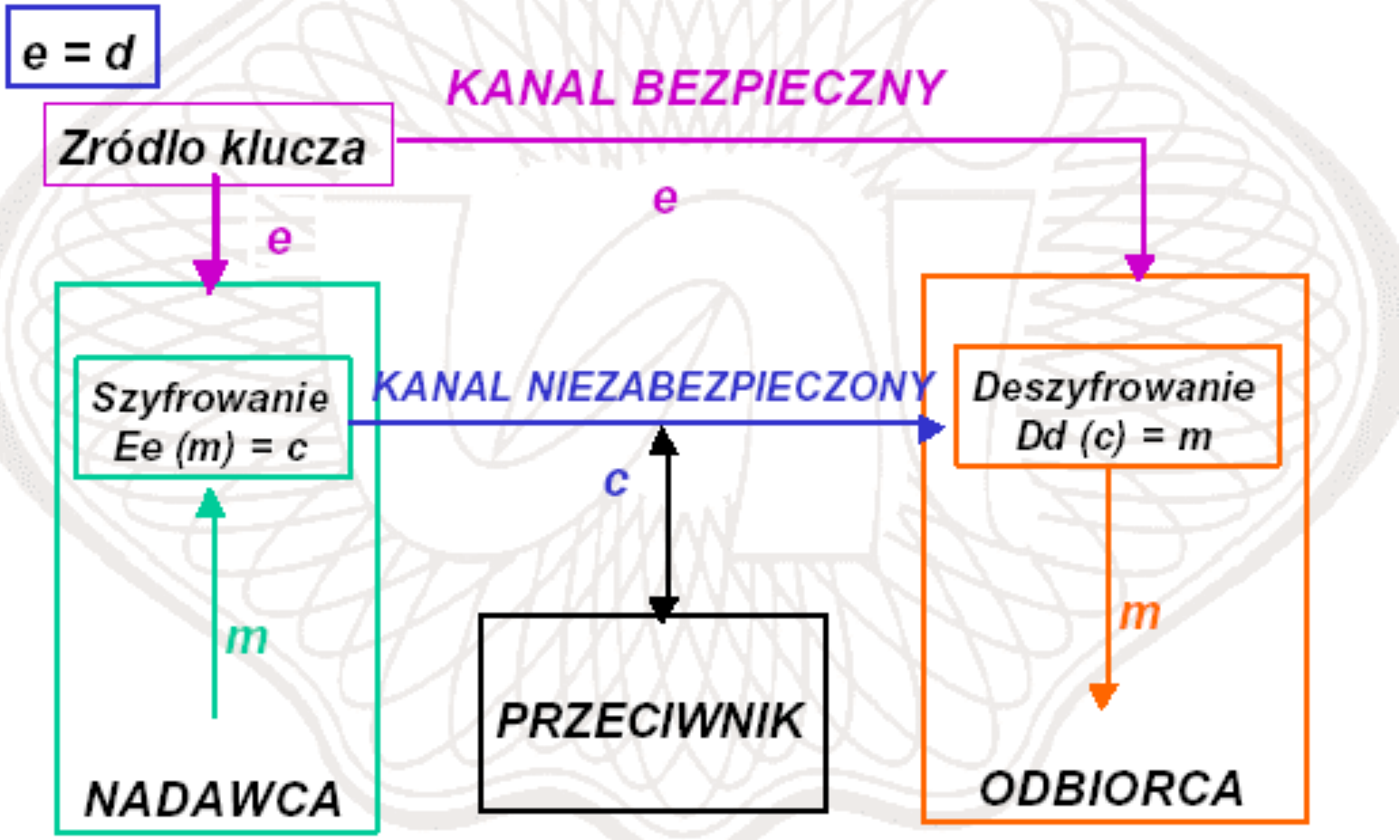
Liczba kluczy dla N podmiotów = N x (N-1) / 2 = 0.5 N^2 - 0.5 N

Liczba kluczy w systemie kryptografii asymetrycznej



Liczba par kluczy dla N podmiotów = N

Symetryczny system kryptograficzny



Techniki szyfrowania

Szyfry blokowe

Szyfry strumieniowe

SZYFRY BLOKOWE- definicja

Szyfry blokowe to procedury, które szyfrują niewielkie bloki danych (znacznie mniejsze od typowej wiadomości), współcześnie jest to najczęściej 128 bitów (AES), choć do niedawna przeważały 64-bitowe bloki (DES, 3DES, Blowfish (kryptografia), IDEA). Klucze są znacznie mniejsze, mają zwykle od 128 do 256 bitów, przy czym wartości mniejsze od 80 (DES – 56) są uważane za niewystarczające. Typowy szyfr blokowy składa się z kilkunastu dość prostych rund przekształcających blok. Operacje używane w tych szyfrach są zwykle proste, ale pochodzą z "różnych światów", np. używa się dodawania, XOR, przesunięć cyklicznych, różnego typu S-BOXów, mnożenia modulo liczb pierwszych itd. Już kilka rund takich operacji zupełnie zaburza jakikolwiek porządek i jest bardzo trudne do analizowania.

SZYFRY STRUMIENIOWE – def.

Szyfry strumieniowe szyfrują każdy znak tekstu jawnego osobno, generując znak strumienia szyfrującego i przekształcając go na przykład z użyciem funkcji XOR go ze znakiem danych, w związku z czym nie jest konieczne oczekiwanie na cały blok danych, jak w przypadku szyfrów blokowych. Najpopularniejszym współczesnym szyfrem strumieniowym jest RC4, którego stosowanie jest ograniczone ze względu na warunki licencyjne. Inne popularne szyfry strumieniowe to A5/1 i A5/2 stosowane w telefonii komórkowej. Do szyfrów strumieniowych należą też historyczne szyfry polialfabetyczne i monoalfabetyczne.

Bezpieczeństwo klucza publicznego

Bezpieczeństwo kryptosystemów klucza publicznego oparte jest na aktualnej wiedzy teoretycznej i możliwościach technologicznych dotyczących rozwiązania danego problemu obliczeniowego.

Rodzaje ataków na systemy kryptograficzne:

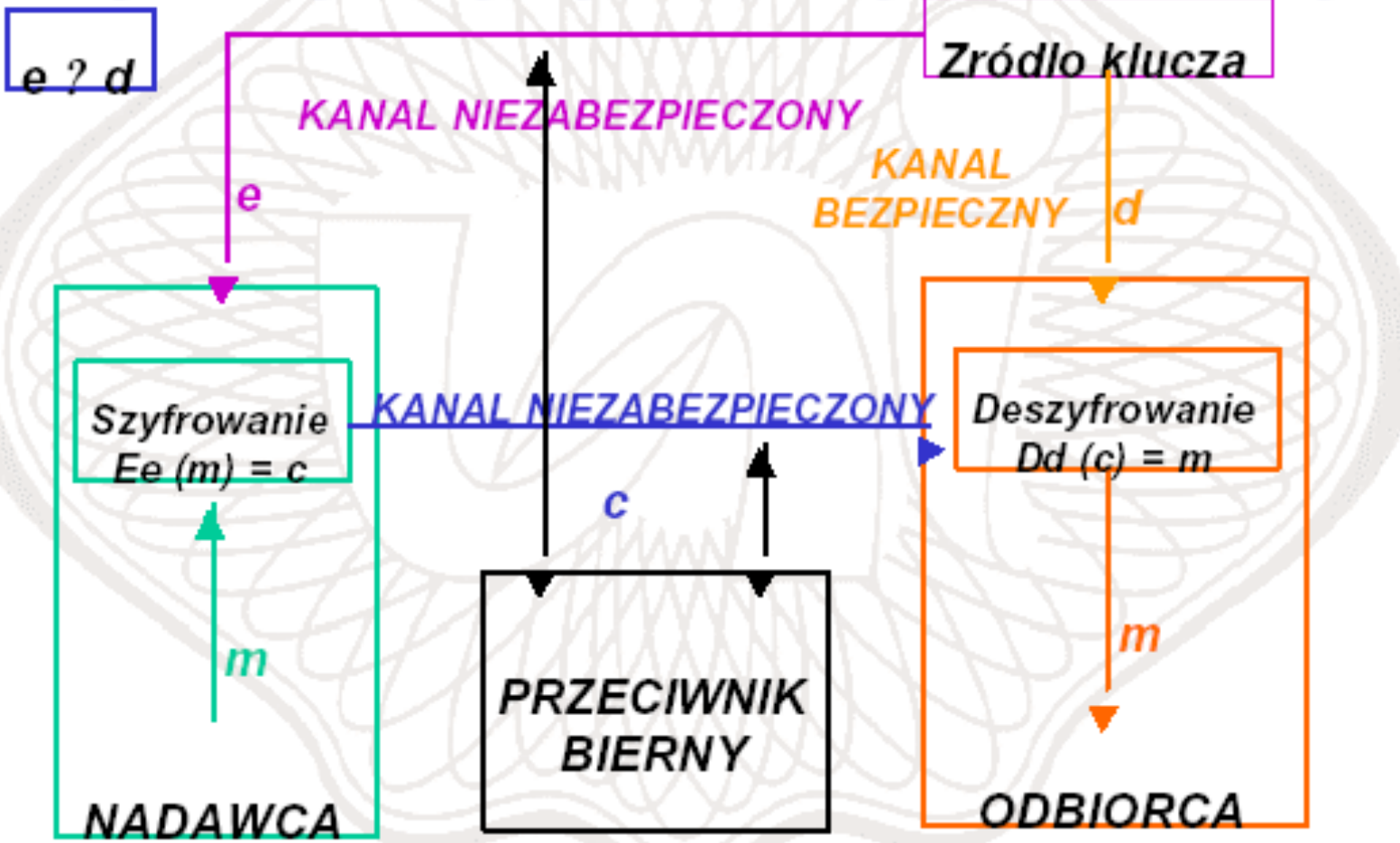
- **Atak bierny**
- **Atak czynny**

Atak bierny

Przeciwnik nie będący stroną w protokole podsłuchuje wiadomości przekazywane w czasie realizacji protokołu i na tej podstawie próbuje wydobyć informacje jawne. Odpowiada to łamaniu szyfru ze znanym tylko szyfrogramem.

Bierni oszuści realizują protokół, ale jednocześnie próbują wydobyć z niego więcej wiadomości niż potrzebują do swego działania.

Asymetryczny system kryptograficzny

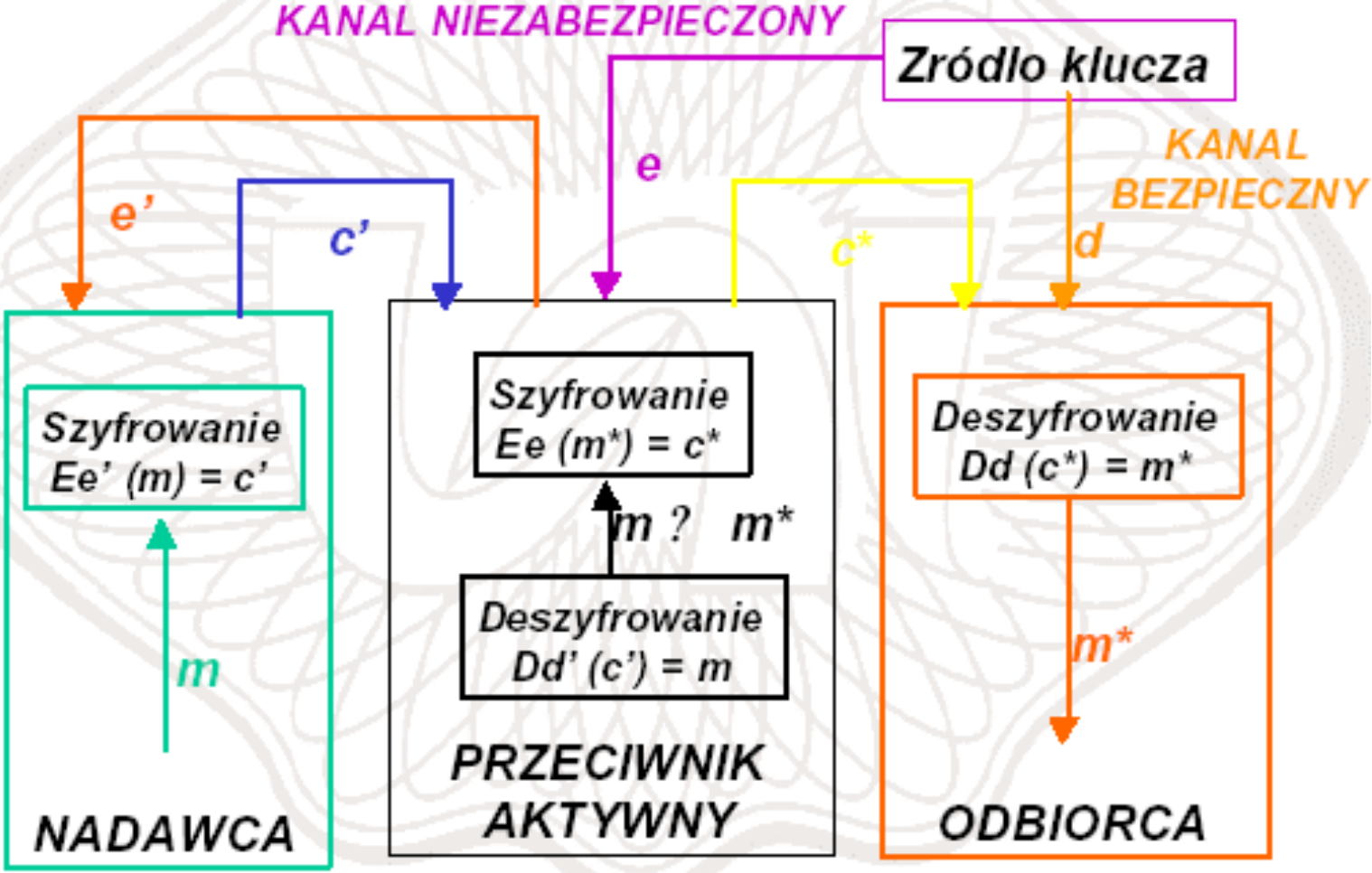


Atak czynny

Przeciwnik w celu uzyskania korzyści stara się wprowadzić do protokołu nowe komunikaty, usunąć istniejące komunikaty, podstawić nowe komunikaty w miejsce istniejących, zniszczyć kanał łączności lub zmienić informacje przechowywane na komputerze.

Łamanie czynne jest bardziej groźne, szczególnie w protokołach, w których odmienne strony niekoniecznie sobie ufają. Napastnik może być legalnym użytkownikiem systemu, może być nawet jedną ze stron uczestniczących w protokole.

Asymetryczny system kryptograficzny "Impersonation attack"



Kryptografia symetryczna - zalety

- duże prędkości przetwarzania danych
- względnie krótkie klucze szyfrujące
- szeroki zakres zastosowań przy konstrukcji różnorodnych mechanizmów kryptograficznych (generatory binarnych ciągów pseudolosowych, funkcje skrótu, itp.)
- możliwość “składania” silnych przekształceń
- szyfrujących ze słabych algorytmów symetrycznych

Kryptografia symetryczna - wady

- ***konieczność utrzymywania w sekrecie klucza wspólnego dla obu komunikujących się stron***
- ***w systemach o dużej liczbie uczestników konieczność zarządzania wieloma parami kluczy - w konsekwencji konieczność zaangażowania do tego celu bezwarunkowo zaufanej trzeciej strony, która powinna świadczyć swoje usługi w sposób ciągły, tzn. w trybie "on-line"***
- ***praktyka wskazuje na konieczność częstej zmiany kluczy, nawet przy każdej nowej sesji komunikacyjnej***

Inne algorytmy klucza publicznego

- Algorytm Diffiego-Hellmana
- Algorytm Plecakowy
- Algorytm Rabina
- Algorytm Williamsa
- Algorytm ElGamala
- Probablistyczny Algorytm Bluma-Goldwassera

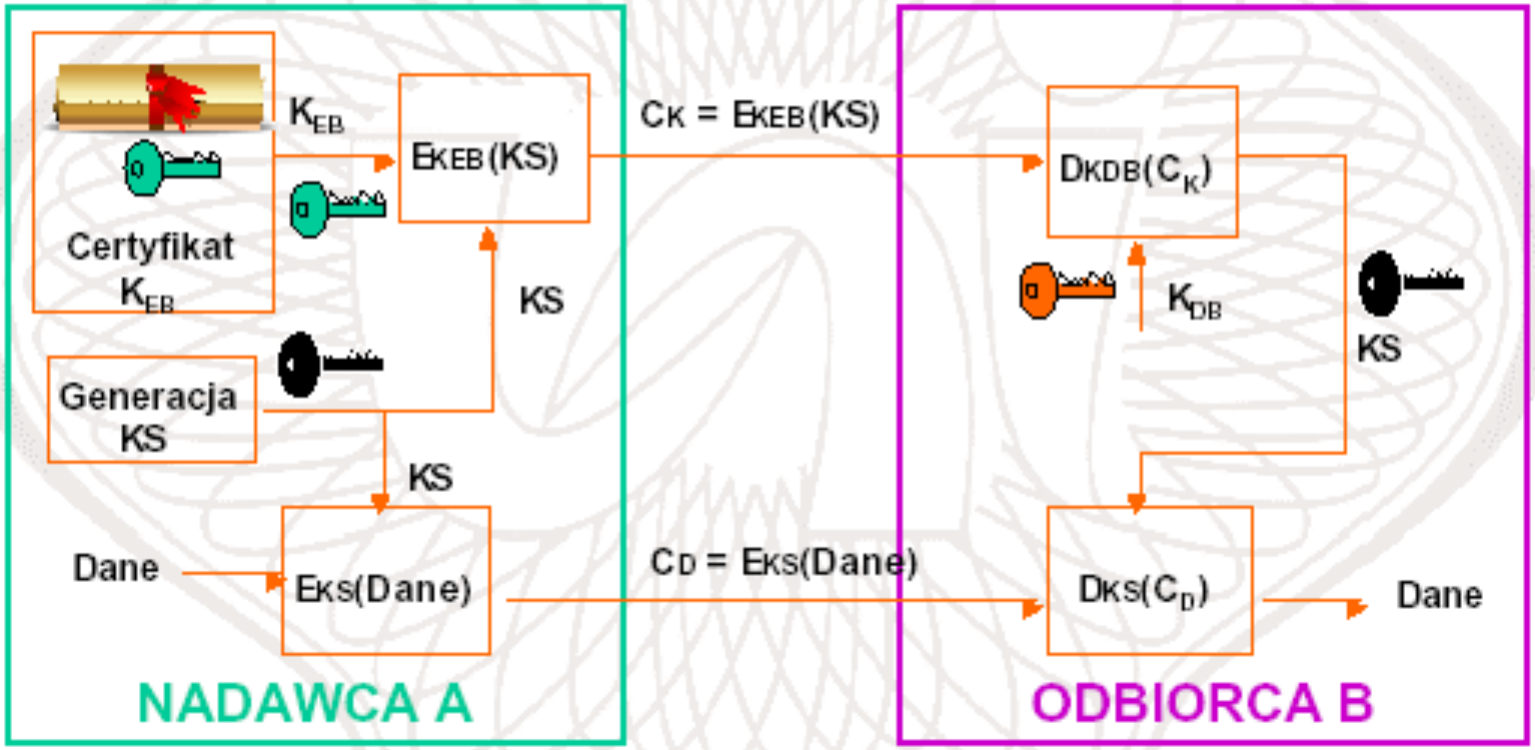
Kryptografia asymetryczna - zalety

- *w sekrecie musi być utrzymywany tylko klucz prywatny, co nie zmienia faktu, ze musi być zagwarantowana autentyczność klucza publicznego*
- *zarządzanie kluczami wymaga istnienia tylko funkcjonalnie zaufanej trzeciej strony, może ona świadczyć swoje usługi w trybie "off-line"*
- *w zależności od trybu zastosowania pary kluczy mogą pozostawać ważne (bez konieczności zmiany) przez dłuższe okresy czasu (wiele sesji komunikacyjnych)*
- *w systemach o dużej liczbie uczestników liczba kluczy o wiele mniejsza, niż w przypadku systemu z kryptografia symetryczna*

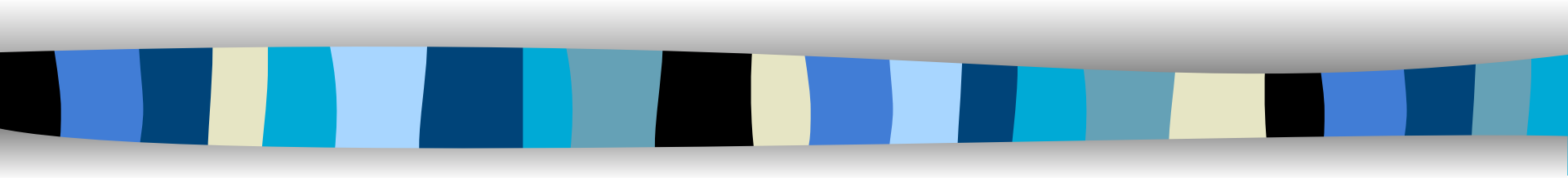
Kryptografia asymetryczna - wady

- ***prędkość przetwarzania danych w większości stosowanych systemów kryptografii asymetrycznej jest o rzędy wielkości mniejsza od najlepszych znanych systemów kryptografii symetrycznej***
- ***długości kluczy o wiele większe niż w systemach kryptografii symetrycznej***
- ***w stosunku do żadnego z systemów asymetrycznych formalnie nie udowodniono bezpieczeństwa (ich konstrukcja jest oparta na niewielkiej liczbie problemów obliczeniowych, o których przypuszcza się, ze są trudne)***

Bezpieczne przekazanie klucza sesyjnego (symetrycznego)



Jednokierunkowe funkcje skrótu
Podpis elektroniczny



Funkcje skrótu

Jednokierunkowe funkcje skrótu
wykorzystywane do zapewniania integralności przesyłanych danych, pozwalają stwierdzić, czy informacja przesyłana od nadawcy do odbiorcy nie została poddana modyfikacji. Założeniami działania takiej funkcji skrótu są:

- uzyskiwany wynik jest stałej długości (niezależnie od długości tekstu, który poddawany jest operacji),
- funkcja działa jednokierunkowo – tzn. nie ma możliwości uzyskania tekstu źródłowego z posiadanego wyniku operacji.

Funkcje skrótu - wlasciwosci

"Dobra" funkcja skrótu musi byc *pseudolosowa*, tzn. dowolna wartosc funkcji skrótu powinna byc jednakowo prawdopodobna, zas zmiana jednego bitu argumentu funkcji skrótu („skracanej" wiadomosci) powinna powodowac zmiane okolo polowy bitów wartosci funkcji dla tego nowego argumentu

Kolizja - dwie rózne wiadomosci x_1 i x_2 sa w kolizji wtedy, gdy $h(x_1) = h(x_2)$

Funkcje skrótu odporne na kolizje - obliczeniowo trudne jest wyznaczenie takiej *pary* róznych wiadomosci x_1 i x_2, by byly one w kolizji

Funkcja jednokierunkowa

Obliczanie wartosci funkcji: y = F(x)

Odtwarzanie argumentu na podstawie wartosci funkcji: x = $F^{-1}(y)$

Kryptograficzne funkcje skrótu

Funkcja skrótu (hash function) - efektywna obliczeniowo funkcja jednokierunkowa odwzorowujaca ciagi binarne o dowolnej dlugosci na ciagi binarne o ustalonej dlugosci

Funkcja skrótu bez klucza: $h = f(x)$

Funkcja skrótu z kluczem (kryptograficzna funkcja kontrolna): $h = f(x, k)$

Własności protokołów kryptograficznych

- Każdy użytkownik protokołu musi go znać i kolejno wykonywać wszystkie kroki
- Każdy użytkownik musi zgodzić się na jego stosowanie
- Protokół nie może być mylący – każdy krok powinien być dobrze zdefiniowany i nie może wystąpić szansa na jakiekolwiek nieporozumienie
- Protokół powinien być kompletny – dla każdej możliwej sytuacji musi być podany odpowiedni sposób postępowania.

Cele stosowania protokołów kryptograficznych

Strony uczestniczące w protokole:

- Dzielą się częścią swoich tajemnic
- Wspólnie generują liczbę losową (klucz kryptograficzny)
- Przekonują się wzajemnie do swojej tożsamości
- Podpisują jednocześnie umowę

Stosowanie protokołów kryptograficznych umożliwia współpracę całkowicie nie ufających sobie stron w obrębie sieci komputerowej.

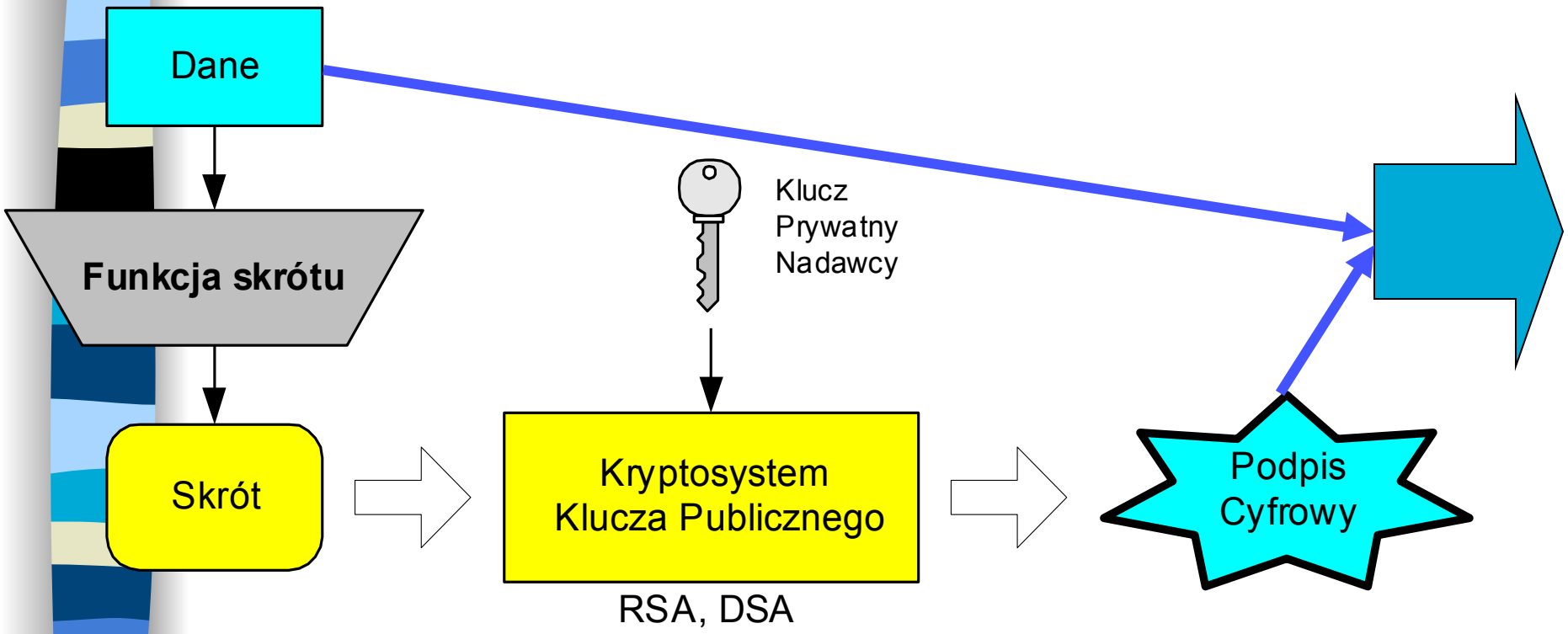
Podpis cyfrowy

Technicznie **podpis cyfrowy** jest ciągiem bitów (krótszym od przesyłanej informacji) będącym funkcją podpisywanej informacji oraz klucza prywatnego nadawcy. W odróżnieniu od podpisu ręcznego zależy od zawartości dokumentu,
a dokładniej - od skompensowanej próbki dokumentu.
Odwzorowanie informacji z dokumentu na jej skompensowaną próbkę dokonuje się za pomocą jednokierunkowej funkcji szyfrującej, tzw. funkcji skrótu, inaczej haszującej *(hash).*

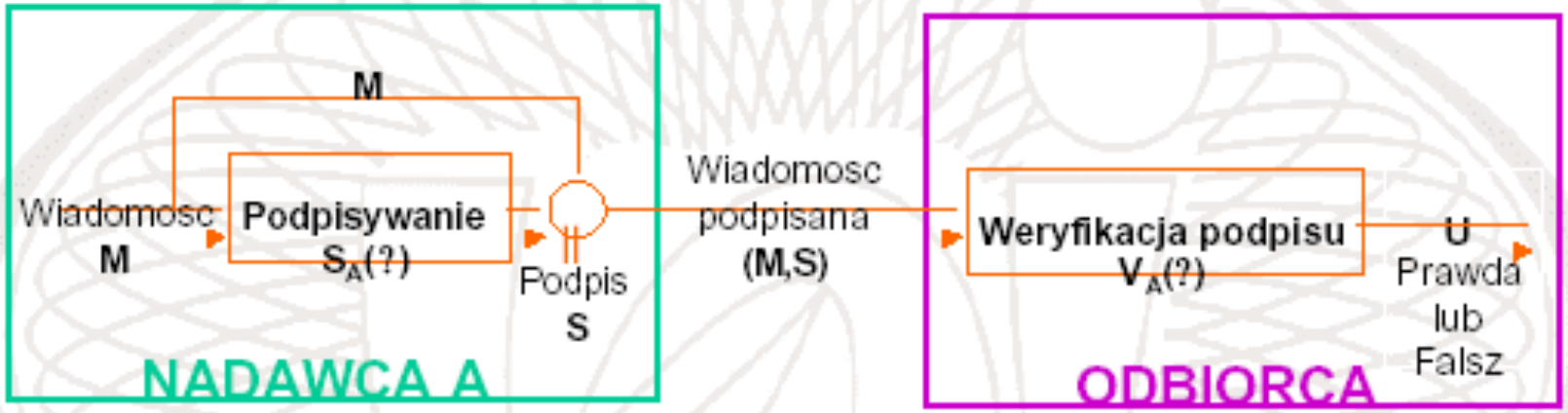
Algorytm generowania i weryfikacji podpisu cyfrowego

1. **Nadawca** *oblicza* skrót wiadomości za pomocą funkcji skrótu.
2. *Szyfruje* kluczem prywatnym nadawcy skrót wiadomości i *dołącza* do wiadomości jako jej podpis cyfrowy.
3. **Odbiorca** *deszyfruje* kluczem publicznym nadawcy jego podpis cyfrowy oraz *wylicza* z niego skrót przesłanej wiadomości.
4. *Porównuje* ze skrótem uzyskanym po zaszyfrowaniu funkcją skrótu otrzymanej wiadomości.
5. **Zgodność** oznacza, że podpis cyfrowy dotyczy przesyłanej wiadomości oraz świadczy o nienaruszalności informacji.

Wykonywanie podpisu cyfrowego



Podpis cyfrowy z zalacznikiem
zasada dzialania



$S = S_A(M) =$ *podpis nadawcy A na wiadomosci M*

$U = V_A(M, S) =$ *prawda lub falsz*

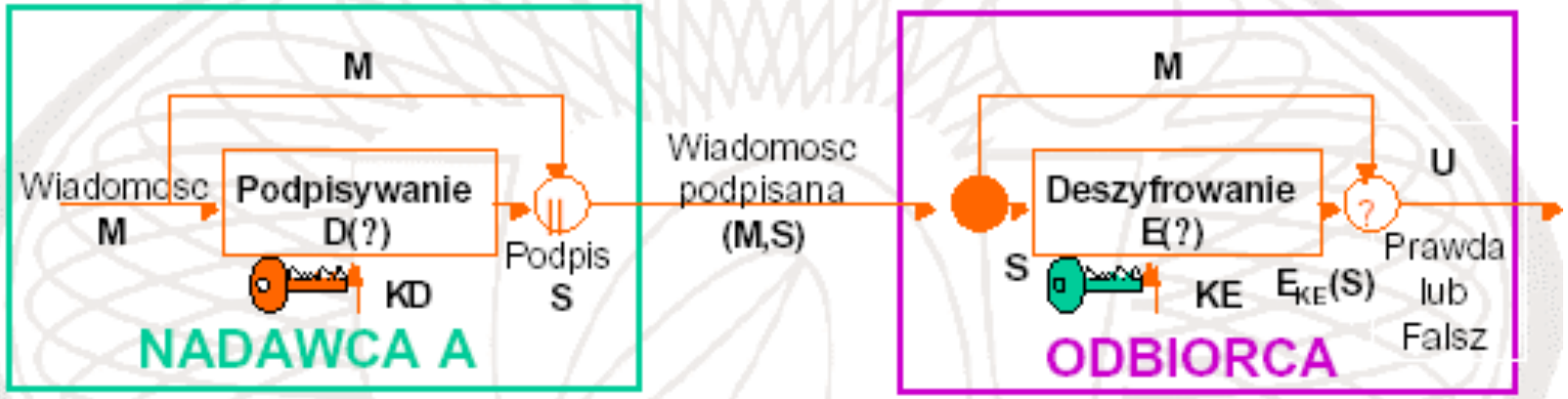
S_A *– funkcja podpisujaca (tajna)*

V_A *– funkcja weryfikujaca (publicznie dostepna)*

Dla dowolnej wiadomosci M' wyznaczenie przez podmiot inny niz A takiej wartosci S', ze $V_A(M', S')$ *= prawda jest obliczeniowo niewykonalne*

Podpis cyfrowy z zalacznikiem

wykorzystanie kryptografii asymetrycznej



Odwracalne przeksztalcenie kryptografii asymetrycznej

$$D_{KD}(E_{KE}(M)) = E_{KE}(D_{KD}(M)) = M$$

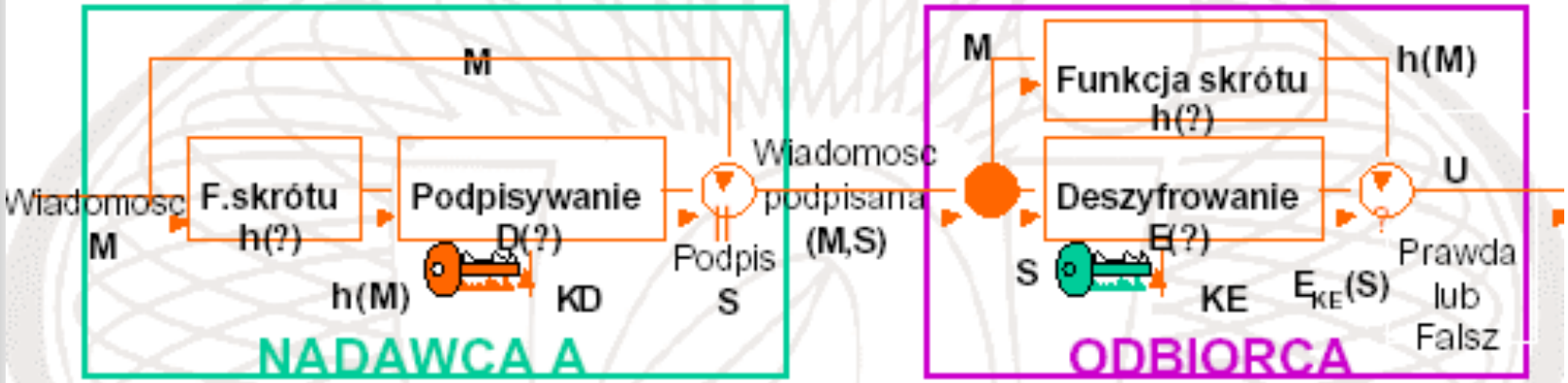
KD – klucz prywatny *KE – klucz publiczny*

$$S = S_A(M) = D_{KD}(M)$$

$$U = V_A(M,S) = \begin{cases} \text{prawda, gdy } E_{KE}(S) = M \\ \text{falsz, gdy } E_{KE}(S) \neq M \end{cases}$$

Podpis cyfrowy z zalacznikiem

zastosowanie funkcji skrótu



$$S = S_A(h(M)) = D_{KD}(h(M))$$

$$U = V_A(M, S) = \begin{cases} \text{prawda, gdy } E_{KE}(S) = h(M) \\ \text{falsz, gdy } E_{KE}(S) \; ? \; h(M) \end{cases}$$

Cechy podpisu elektronicznego

Podpis elektroniczny ma wszystkie istotne cechy podpisu odręcznego: potwierdza jednoznacznie tożsamość osoby podpisującej, uniemożliwia zaprzeczenie faktu podpisania i dokonania transakcji, jest też powiązany z treścią, która została podpisana. Dodatkową zaletą stosowania podpisu elektronicznego jest możliwość stwierdzenia na podstawie samego podpisu, czy dokument nie był zmieniany już po podpisaniu. Dzięki temu może być wykorzystywany do jednoznacznej autoryzacji wszelkich dokumentów i transakcji elektronicznych.

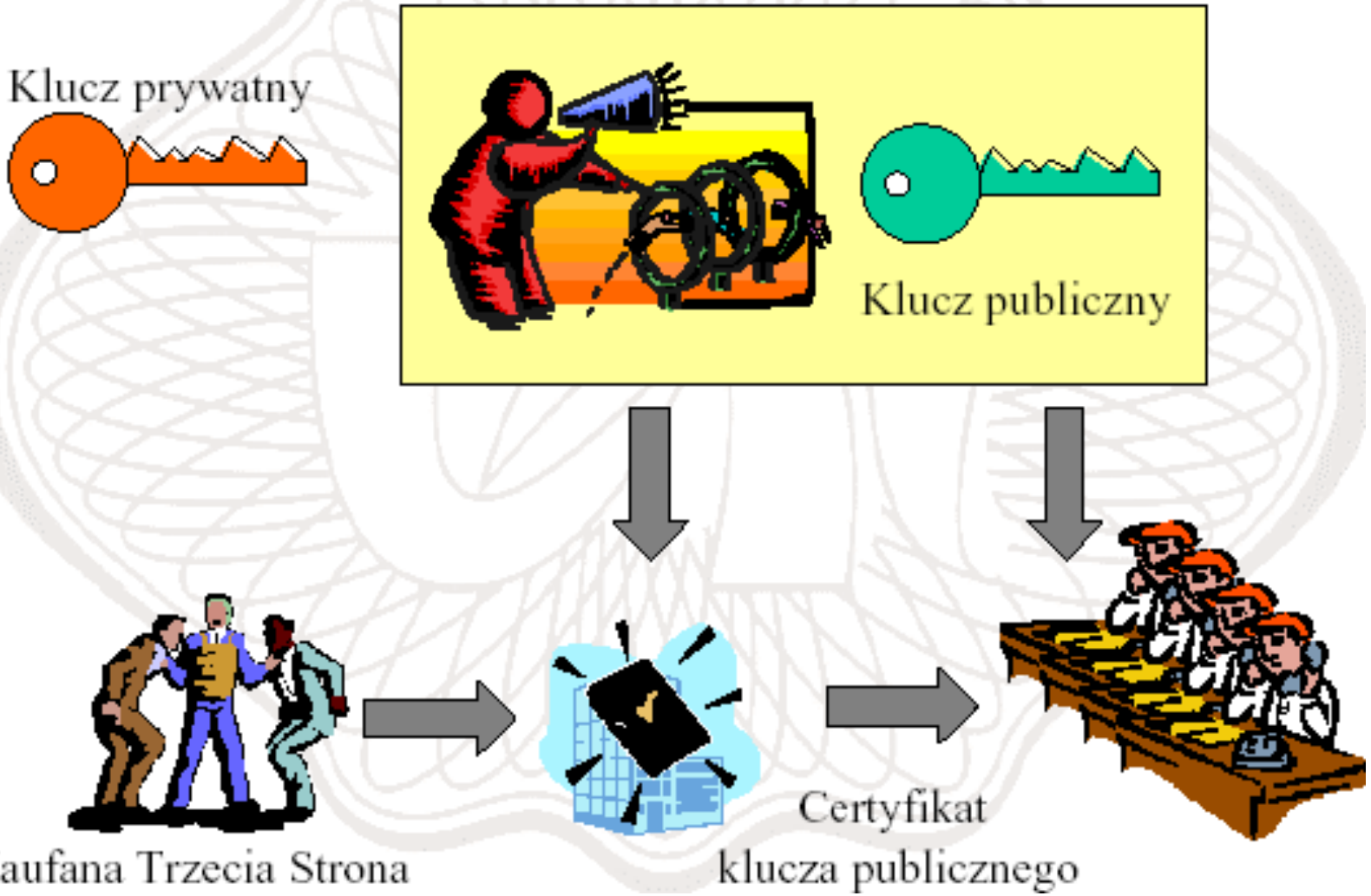
Certyfikacja podpisu cyfrowego

Łatwo wyobrazić sobie scenariusz, w którym intruz podmienia klucz publiczny określonego użytkownika, a następnie przechwytuje i swobodnie deszyfruje wiadomości kierowane do tego użytkownika.

Skutecznym i efektywnym rozwiązaniem tego problemu są tzw. **urzędy certyfikacji** (*ang. certificate authority*) odpowiadające za dystrybucję kluczy publicznych użytkowników.

Użytkownik, aplikacja lub urządzenie, które zamierzają prowadzić szyfrowanie w systemie klucza publicznego najpierw powinni zarejestrować się w urzędzie certyfikacji oraz dostarczyć swoje klucze publiczne wraz z danymi identyfikacyjnymi.

Certyfikat


Klucz prywatny
Klucz publiczny
Zaufana Trzecia Strona
Certyfikat
klucza publicznego

Uzyskanie certyfikatu

Podpisany wniosek zawierajacy dane identyfikujace

PUNKT REJESTRACJI

Wniosek podpisany kluczem prywatnym PR

Sprawdzenie i potwierdzenie tozsamosci

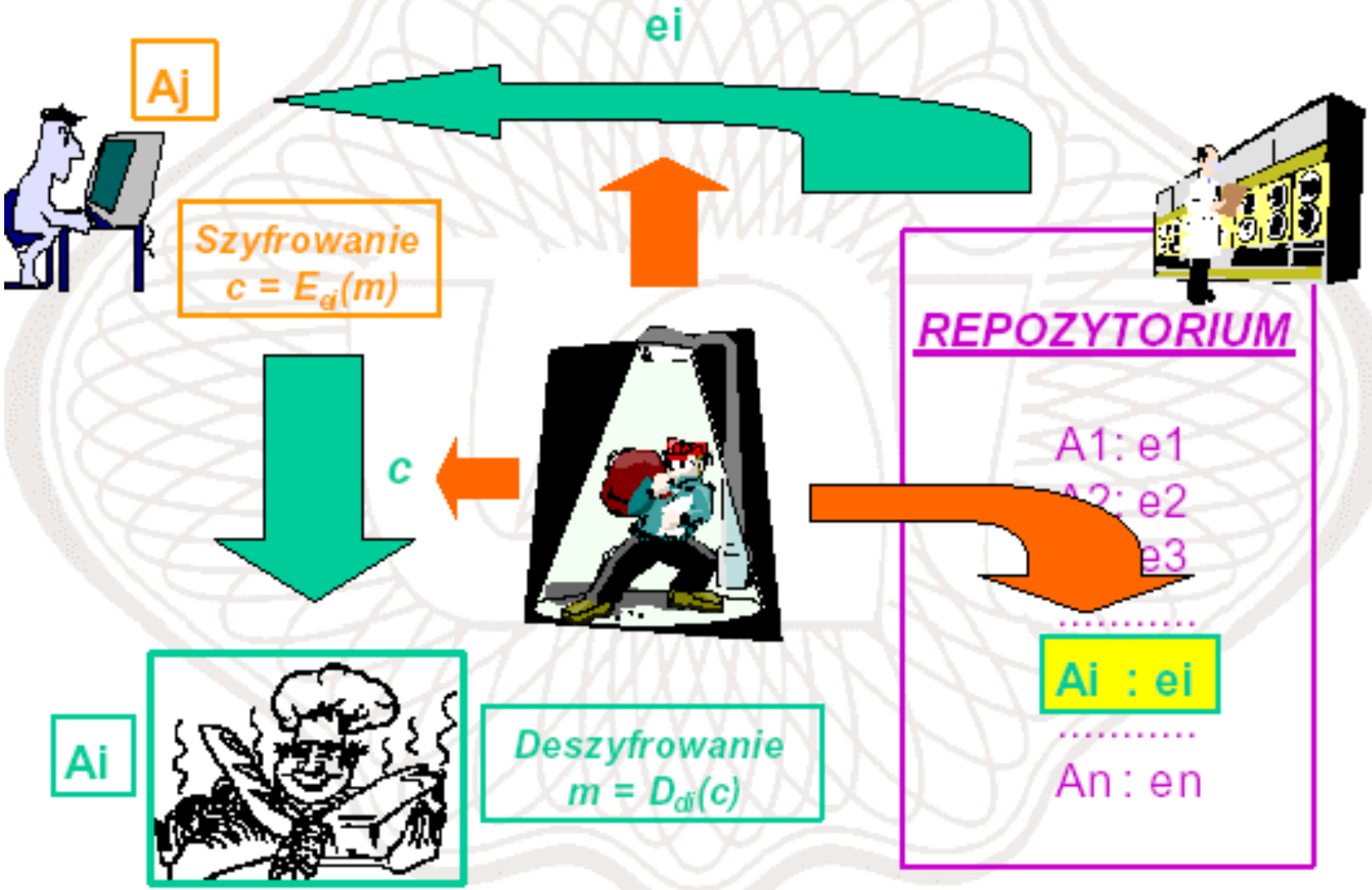
Zadanie wydania certyfikatu

Zaufana Trzecia Strona

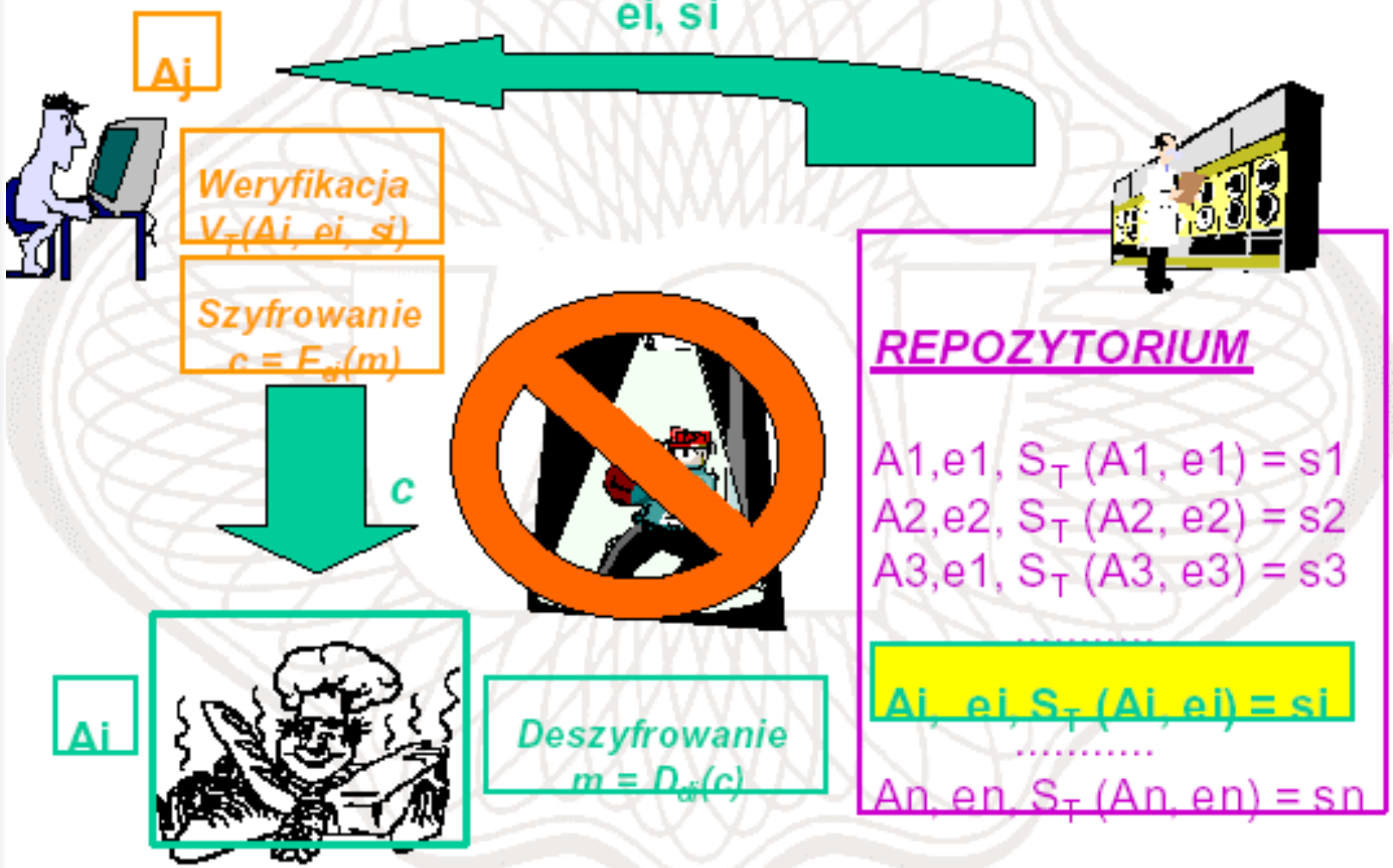
Certyfikat
Informacja o kluczu i tozsamosci podmiotu podpisana przez Zaufana Trzecia Strone

Wydanie certyfikatu

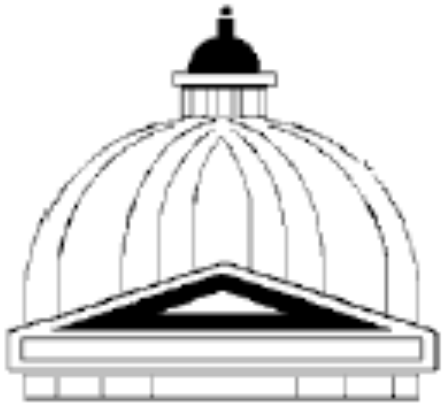
“Poufna wymiana danych”



Certyfikaty klucza publicznego



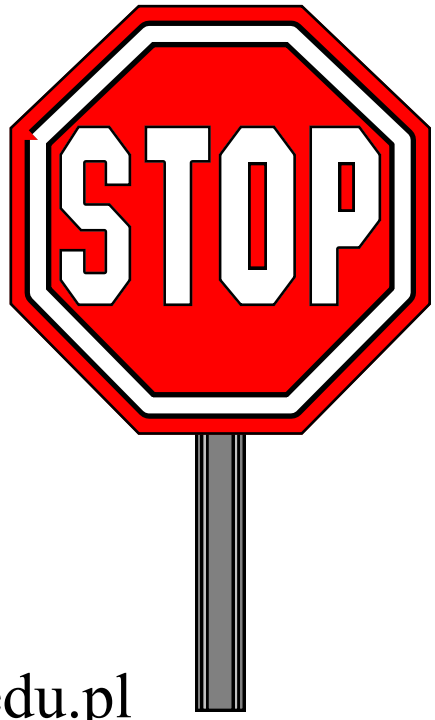
Elementy certyfikatu cyfrowego



Urząd Certyfikacji

- *Entrust*
- *Verisign, ...*

Dziękuję za uwagę



jczerniak@ukw.edu.pl