Dokumentacja Projektu CryptoLab Mobile

Agnieszka Ryś

16 listopada 2025

Spis treści

1 Cel projektu

Celem aplikacji **CryptoLab Mobile** jest edukacja w zakresie kryptografii. Aplikacja mobilna pozwala szyfrować i deszyfrować teksty oraz pliki `.txt`, sprawdzać poprawność kluczy oraz eksportować wyniki. Aplikacja implementuje zarówno klasyczne szyfry historyczne (Cezara, Vigenère'a, szyfr z kluczem bieżącym), nowoczesny standard szyfrowania symetrycznego AES (Advanced Encryption Standard), jak i przełomowy algorytm kryptografii asymetrycznej RSA (Rivest-Shamir-Adleman). Wszystkie algorytmy są implementowane ręcznie, bez użycia gotowych bibliotek kryptograficznych, co pozwala na głębsze zrozumienie ich działania i różnic między kryptografią symetryczną a asymetryczną.

2 Podstawy kryptografii klasycznej

Wprowadzenie

Kryptografia to dziedzina zajmująca się ochroną informacji poprzez jej przekształcanie w formę nieczytelną dla osób nieuprawnionych. Jej historia sięga starożytności, gdzie stosowano proste metody szyfrowania, znane obecnie jako **kryptografia klasyczna**. Celem było zapewnienie poufności korespondencji wojskowej, dyplomatycznej czy handlowej.

2.1 Kryptografia symetryczna

W kryptografii symetrycznej ten sam klucz służy zarówno do szyfrowania, jak i deszyfrowania wiadomości. Najważniejsze cechy:

- wysoka szybkość działania,
- konieczność bezpiecznej wymiany klucza,
- podatność na ataki brute-force przy krótkich kluczach.

2.2 Przykłady szyfrów klasycznych

- **Szyfr Cezara** – przesunięcie liter alfabetu o stałą liczbę pozycji,
- **Szyfr Vigenère'a** – wieloalfabetyczny szyfr wykorzystujący słowo-klucz,
- **Szyfr z kluczem bieżącym** – rozwinięcie Vigenère'a z długim kluczem tekstowym,
- **Szyfr podstawieniowy (monoalfabetyczny)** – każdej literze alfabetu przypisana jest inna litera,
- **Szyfr Playfair** – operujący na parach liter,
- **Szyfr transpozycyjny** – zmienia kolejność znaków w wiadomości.

2.3 Znaczenie w edukacji

Choć współcześnie klasyczne szyfry nie zapewniają realnego bezpieczeństwa, stanowią doskonałe narzędzie dydaktyczne. Pozwalają zrozumieć podstawowe pojęcia kryptografii, takie jak:

- **klucz** – parametr definiujący szyfrowanie,
- **przestrzeń kluczy** – zbiór możliwych wartości klucza,
- **analiza częstości** – klasyczna metoda łamania szyfrów,
- **brute-force** – przeszukiwanie wszystkich możliwych kluczy.

2.4 Nowoczesna kryptografia symetryczna – AES

Aplikacja CryptoLab zawiera również implementację **AES (Advanced Encryption Standard)**, który jest standardem współczesnego szyfrowania symetrycznego. W przeciwieństwie do szyfrów klasycznych, AES:

- jest szyfrem **blokowym** (operuje na blokach 128 bitów),
- wykorzystuje złożone operacje matematyczne (S-Box, MixColumns, ShiftRows),
- oferuje różne długości kluczy (128, 192, 256 bitów),
- obsługuje różne tryby pracy (ECB, CBC, CTR),
- jest odporny na wszystkie znane praktyczne ataki kryptograficzne.

Dzięki implementacji zarówno szyfrów klasycznych, jak i nowoczesnego AES, użytkownicy mogą porównać podejścia historyczne z obecnie stosowanymi rozwiązaniami i zrozumieć ewolucję kryptografii.

3 Miejsce szyfru Cezara

Szyfr Cezara należy do najprostszych szyfrów podstawieniowych. Choć jego bezpieczeństwo jest znikome, odgrywa on kluczową rolę w nauczaniu, ponieważ wprowadza intuicyjnie pojęcia klucza, szyfrowania i deszyfrowania. CryptoLab wykorzystuje go jako **pierwszy krok** w implementacji i analizie algorytmów kryptograficznych.

4 Technologie wykorzystane w projekcie

React Native + Expo Główna platforma wykorzystana do tworzenia aplikacji mobilnych. React Native umożliwia budowanie natywnych aplikacji na systemy Android i iOS, wykorzystując składnię zbliżoną do Reacta. Expo zostało użyte jako narzędzie wspierające proces developmentu – upraszcza konfigurację środowiska, przyspiesza testowanie na urządzeniach mobilnych i zapewnia dostęp do bogatego ekosystemu bibliotek.

TypeScript Nadzbiór JavaScriptu wprowadzający system typów. Zastosowanie TypeScriptu pozwoliło na:

- wcześniejsze wykrywanie błędów podczas kompilacji,
- lepszą kontrolę nad strukturą danych i interfejsami,
- zwiększoną czytelność oraz przewidywalność kodu,

Expo Document Picker, File System, Vector Icons Dodatkowe biblioteki środowiska Expo:

- `expo-document-picker` – umożliwia wybór plików z pamięci urządzenia,
- `expo-file-system` – zapewnia dostęp do systemu plików (zapisywanie, odczyt, usuwanie plików),
- `expo-vector-icons` – biblioteka ikon pozwalająca wzbogacić interfejs użytkownika.

Git System kontroli wersji użyty do zarządzania historią kodu. Pozwolił na prowadzenie szczegółowego changelogu, śledzenie postępów w projekcie oraz łatwe zarządzanie zmianami w kodzie źródłowym.

LaTeX System składu tekstu wykorzystany do przygotowania dokumentacji. Umożliwia on:

- zachowanie spójności formatowania,
- wygodne dodawanie fragmentów kodu źródłowego i zrzutów ekranu,
- automatyczne generowanie spisów treści i numeracji.

5 Architektura systemu

5.1 Wzorzec projektowy

Aplikacja wykorzystuje **Strategy Pattern** dla algorytmów kryptograficznych. Każdy algorytm dziedziczy z klasy abstrakcyjnej `CryptographicAlgorithm` i implementuje metody:

- `encrypt(plaintext, key)` – szyfruje tekst,
- `decrypt(ciphertext, key)` – deszyfruje tekst,
- `validateKey(key)` – sprawdza poprawność klucza,
- `getKeyRequirements()` – zwraca opis wymagań dla klucza.

Wszystkie algorytmy zarejestrowane są w `AlgorithmRegistry` (Singleton Pattern), co umożliwia łatwe dodawanie nowych szyfrów bez modyfikacji głównej aplikacji.

5.2 Komponenty główne

- **App.tsx** – główny komponent aplikacji, obsługuje interfejs użytkownika,
- **AlgorithmSidebar.tsx** – boczny panel z listą dostępnych algorytmów,
- **AlgorithmRegistry.ts** – rejestr i zarządzanie algorytmami,
- **CryptographicAlgorithm.ts** – klasa bazowa dla wszystkich algorytmów,
- **fileUtils.ts** – funkcje do obsługi operacji na plikach.

6 Struktura projektu

```
crypto-lab-mobile/
          App.tsx                              (glowny komponent)
          package.json                         (zalezno ci projektu)
          tsconfig.json                        (konfiguracja TypeScriptu)
          app.json                             (konfiguracja Expo)
          src/
                algorithms/
                      CryptographicAlgorithm.ts   (klasa bazowa)
                      CaesarCipher.ts             (szyfr Cezara)
                      VigenereCipher.ts           (szyfr Vigenere'a)
                      RunningKeyCipher.ts         (szyfr z kluczem
   biezacym)
                      AESCipher.ts                (szyfr AES)
                      RSACipher.ts                (szyfr RSA)
                      AlgorithmRegistry.ts        (rejestr algorytmow)
                components/
                      AlgorithmSidebar.tsx        (panel z algorytmami)
                utils/
                    fileUtils.ts                (obsluga plikow)
          assets/                              (zasoby graficzne)
```

7 Implementacja szyfru Cezara

7.1 Podstawy

Szyfr Cezara to prosty szyfr monoalfabetyczny, w którym litery przesuwane są o wartość klucza k. Przestrzeń kluczy obejmuje wartości 1–25. Metoda jest podatna na ataki brute-force i analizę częstotliwości.

7.2 Model matematyczny

- Szyfrowanie: $E_k(x) = (x + k) \bmod 26$,
- Deszyfrowanie: $D_k(x) = (x - k) \bmod 26$.

7.3 Cechy implementacji

- Obsługuje zarówno wielkie jak i małe litery,
- Znaki niebędące literami pozostają bez zmian,
- Klucz musi być liczbą całkowitą z zakresu 1–25,
- Walidacja klucza zwraca szczegółową informację o błędach.

8 Implementacja szyfru Vigenère'a

8.1 Historia i znaczenie

Szyfr Vigenère'a został opracowany w XVI wieku przez Blaise de Vigenère'a. Przez długi czas uważany był za niezniszczalny (*le chiffre indéchiffrable*) aż do jego przełamania przez Charles'a Babbage'a w XIX wieku.

8.2 Podstawy

Szyfr Vigenère'a to szyfr **polialfabetyczny**, który wykorzystuje słowo-klucz do generowania serii przesunięć. W przeciwieństwie do szyfru Cezara, każda litera tekstu może być szyfrowana z innym przesunięciem.

8.3 Model matematyczny

- Szyfrowanie: $E_k(x_i) = (x_i + k_{i \bmod |k|}) \bmod 26$,
- Deszyfrowanie: $D_k(y_i) = (y_i - k_{i \bmod |k|}) \bmod 26$,
- gdzie k to słowo-klucz, a $|k|$ to jego długość.

8.4 Przykład działania

Tekst jawny	A	T	T	A	C	K
Klucz	L	E	M	O	N	L
Przesunięcia	+11	+4	+12	+14	+13	+11
Tekst zaszyfrowany	L	X	F	O	P	V

8.5 Cechy implementacji

- Klucz może zawierać tylko litery (A-Z, a-z),
- Klucz nie może być pusty,
- Znaki niebędące literami w tekście źródłowym są przepisywane bez zmian,
- Klucz automatycznie się powtarza dla długich tekstów,
- Obsługuje zarówno wielkie jak i małe litery w tekście.

9 Implementacja szyfru z kluczem bieżącym

9.1 Historia i zastosowanie

Szyfr z kluczem bieżącym (Running Key Cipher) to rozwinięcie szyfru Vigenère'a. Zamiast krótko słowa, wykorzystuje on klucz o długości co najmniej równej długości tekstu. Gdy klucz jest naprawdę losowy i będzie użyty tylko raz, szyfr ten jest teoretycznie nie do złamania (jest to wariant szyfru jednorazowego – *One-Time Pad*).

9.2 Podstawy

Algorytm jest w zasadzie identyczny z szyfrem Vigenère'a, ale z istotną różnicą: klucz powinien być znacznie dłuższy niż tekst. W praktyce zastosowania edukacyjnego aplikacja automatycznie generuje klucz z tekstu Lorem Ipsum.

9.3 Model matematyczny

- Szyfrowanie: $E_k(x_i) = (x_i + k_i) \bmod 26$,
- Deszyfrowanie: $D_k(y_i) = (y_i - k_i) \bmod 26$,
- gdzie $|k| \geqslant |x|$ (klucz jest co najmniej tak długi jak tekst).

9.4 Cechy implementacji

- Klucz może zawierać litery i spacje,
- Klucz musi zawierać co najmniej 5 liter,
- Aplikacja automatycznie generuje losowy klucz na bazie Lorem Ipsum,
- Zaszyfrowany tekst zawiera klucz w formacie: `<klucz>::<tekst_zaszyfrowany>`,
- Deszyfrowanie wymaga podania tekstu w poprawnym formacie.

9.5 Bezpieczeństwo

- Gdy klucz jest losowy i używany tylko raz, szyfr jest teoretycznie bezpieczny,
- Słaba strona: jeśli klucz jest krótszy niż tekst, powtarza się i traci bezpieczeństwo,
- W aplikacji edukacyjne klucz jest generowany automatycznie i przechowywany w wynikach.

10 Implementacja szyfru AES

10.1 Historia i znaczenie

AES (Advanced Encryption Standard) to symetryczny szyfr blokowy, który w 2001 roku został wybrany przez NIST (National Institute of Standards and Technology) jako następca przestarzałego algorytmu DES. Został opracowany przez belgijskich kryptografów Joana Daemena i Vincenta Rijmena pod nazwą *Rijndael*. AES jest obecnie najpowszechniej stosowanym szyfrem symetrycznym na świecie – chroni dane w protokołach SSL/TLS, systemach bankowych, szyfrowanych dyskach i wielu innych zastosowaniach.

10.2 Podstawy

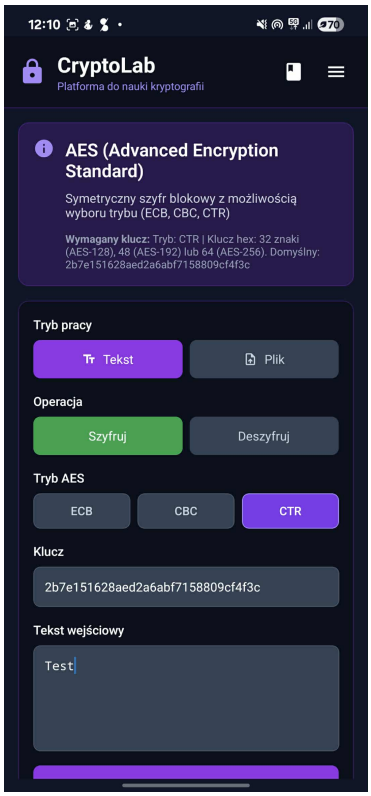
AES to szyfr **blokowy**, który operuje na blokach danych o długości 128 bitów (16 bajtów). W przeciwieństwie do szyfrów klasycznych, AES wykorzystuje skomplikowane operacje matematyczne na macierzach bajtów, w tym podstawienia (S-Box), permutacje, mieszanie kolumn i dodawanie klucza rundowego.

10.3 Warianty AES

AES występuje w trzech wariantach, różniących się długością klucza:

- **AES-128** – klucz 128-bitowy (32 znaki hex), 10 rund szyfrowania,
- **AES-192** – klucz 192-bitowy (48 znaków hex), 12 rund szyfrowania,
- **AES-256** – klucz 256-bitowy (64 znaki hex), 14 rund szyfrowania.

Im dłuższy klucz, tym wyższe bezpieczeństwo, ale także nieznacznie wolniejsze działanie.



Rysunek 1: Strona główna szyfru AES w aplikacji CryptoLab

Rysunek **??** przedstawia interfejs użytkownika aplikacji CryptoLab Mobile dla szyfru AES.

10.4 Tryby pracy AES

Szyfr blokowy wymaga określenia **trybu pracy**, który definiuje sposób szyfrowania wielu bloków danych:

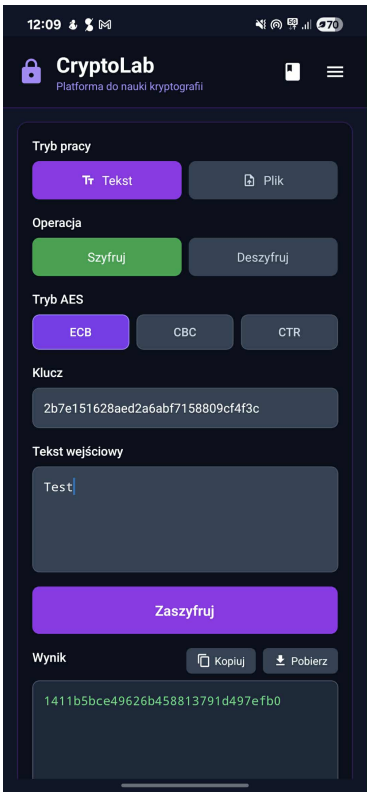
ECB (Electronic Codebook) Najprostszy tryb – każdy blok szyfrowany jest niezależnie tym samym kluczem. **Niezalecany** w praktyce, ponieważ identyczne bloki tekstu jawnego dają identyczne bloki szyfrogramu, co może ujawnić wzorce w danych. Rysunek **??** przedstawia przykładowe szyfrowanie tekstu w trybiie ECB.

CBC (Cipher Block Chaining) Każdy blok tekstu jawnego jest najpierw XOR-owany z poprzednim blokiem szyfrogramu przed zaszyfrowaniem. Wymaga wektora inicjalizującego (IV). Tryb ten ukrywa wzorce w danych i jest szeroko stosowany. Rysunek **??** przedstawia przykładowe deszyfrowanie tekstu w trybiie CBC.

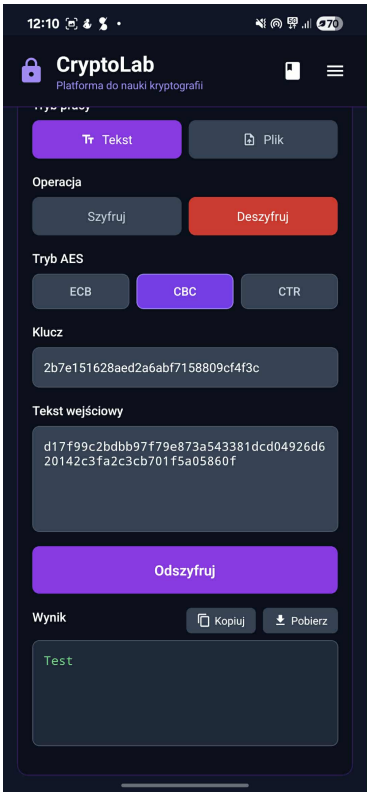
CTR (Counter Mode) Przekształca szyfr blokowy w szyfr strumieniowy. Szyfruje kolejne wartości licznika, a wyniki XOR-uje z blokami tekstu jawnego. Umożliwia równoległe szyfrowanie i deszyfrowanie. Rysunek **??** przedstawia przykładowe szyfrowanie tekstu w trybiie CTR.

10.5 Struktura algorytmu AES

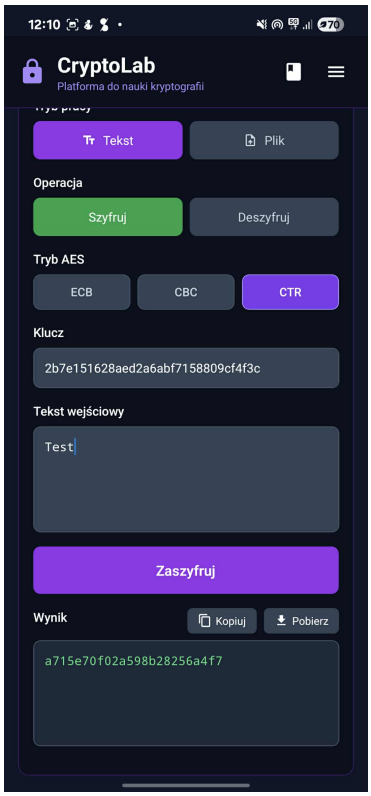
Algorytm AES składa się z następujących kroków (dla każdej rundy):



Rysunek 2: Tryb ECB w szyfrze AES



Rysunek 3: Tryb CBC w szyfrze AES



Rysunek 4: Tryb CTR w szyfrze AES

1. **SubBytes** – podstawienie bajtów zgodnie z tablicą S-Box,
2. **ShiftRows** – przesunięcie wierszy macierzy stanu,
3. **MixColumns** – mieszanie kolumn macierzy (pomijane w ostatniej rundzie),
4. **AddRoundKey** – dodanie klucza rundowego (operacja XOR).

Przed pierwszą rundą wykonywana jest operacja `AddRoundKey` z kluczem początkowym.

10.6 Cechy implementacji

- Obsługuje klucze w formacie szesnastkowym (hex),
- Klucz musi mieć długość 32, 48 lub 64 znaki hex (AES-128/192/256),
- Domyślny klucz: `2b7e151628aed2a6abf7158809cf4f3c` (AES-128),
- Implementuje trzy tryby pracy: ECB, CBC, CTR,
- Używa paddingu PKCS#7 dla dopełnienia bloków,
- Generuje losowy wektor inicjalizujący (IV) dla trybów CBC i CTR,
- Wynik szyfrowania zwracany w formacie hex,
- Pełna implementacja bez użycia zewnętrznych bibliotek kryptograficznych.

10.7 Bezpieczeństwo

- AES jest uważany za **kryptograficznie bezpieczny** przy prawidłowym użyciu,
- Nie znaleziono praktycznych ataków na pełny AES-128, AES-192 ani AES-256,
- Teoretyczne ataki istnieją, ale wymagają zasobów przekraczających możliwości obecnej technologii,
- Bezpieczeństwo zależy od:
  - wyboru odpowiedniego trybu pracy (CBC lub CTR zamiast ECB),
  - użycia losowego IV dla trybów CBC i CTR,
  - odpowiedniej długości klucza (zalecane minimum: AES-128),
  - bezpiecznego przechowywania i dystrybucji klucza.

10.8 Zastosowania

AES jest wykorzystywany w:

- szyfrowanie połączeń internetowych (HTTPS, SSL/TLS),
- pełne szyfrowanie dysków (BitLocker, FileVault),
- sieci bezprzewodowe (WPA2, WPA3),
- aplikacje bankowe i systemy płatności,
- komunikatory szyfrowane (Signal, WhatsApp),
- archiwizacja danych (7-Zip, WinRAR z szyfrowaniem AES).

11 Kryptografia asymetryczna – RSA

11.1 Historia i znaczenie

RSA (Rivest-Shamir-Adleman) to pierwszy praktyczny algorytm kryptografii asymetrycznej, opublikowany w 1977 roku przez Rona Rivesta, Adi Shamira i Leonarda Adlemana z MIT. RSA rozwiązał fundamentalny problem kryptografii symetrycznej: **bezpieczną wymianę kluczy**.

W kryptografii asymetrycznej każdy użytkownik posiada parę kluczy:

- **klucz publiczny** – może być swobodnie udostępniany, służy do szyfrowania,
- **klucz prywatny** – musi być tajny, służy do deszyfrowania.

To rewolucyjne podejście umożliwiło bezpieczną komunikację bez wcześniejszej wymiany tajnego klucza.

11.2 Podstawy matematyczne

Bezpieczeństwo RSA opiera się na trudności **faktoryzacji dużych liczb złożonych**. Łatwo jest pomnożyć dwie duże liczby pierwsze, ale bardzo trudno rozłożyć ich iloczyn na czynniki pierwsze.

11.3 Model matematyczny

Generowanie kluczy:

1. Wybierz dwie duże liczby pierwsze: p i q
2. Oblicz moduł: $n = p \cdot q$
3. Oblicz funkcję Eulera: $\phi(n) = (p-1)(q-1)$
4. Wybierz wykładnik publiczny e, taki że: $1 < e < \phi(n)$ oraz $\text{nwd}(e, \phi(n)) = 1$
5. Oblicz wykładnik prywatny d, taki że: $d \cdot e \equiv 1 \pmod{\phi(n)}$
6. Klucz publiczny: (e, n)
7. Klucz prywatny: (d, n)

Szyfrowanie i deszyfrowanie:

- Szyfrowanie (klucz publiczny): $c = m^e \bmod n$
- Deszyfrowanie (klucz prywatny): $m = c^d \bmod n$
- gdzie m – wiadomość, c – szyfrogram

11.4 Przykład działania

Niech $p = 61$, $q = 53$: n $= 61 \cdot 53 = 3233$
$\phi(n) = 60 \cdot 52 = 3120$
$e = 17 \quad (\text{nwd}(17, 3120) = 1)$
$d = 2753 \quad (17 \cdot 2753 \equiv 1 \pmod{3120})$
Klucz publiczny: $(17, 3233)$
Klucz prywatny: $(2753, 3233)$
Szyfrowanie litery 'A' (kod ASCII: 65):

$$c = 65^{17} \bmod 3233 = 2790$$

Deszyfrowanie:

$$m = 2790^{2753} \bmod 3233 = 65$$

11.5 Cechy implementacji

- Generowanie par kluczy z losowymi liczbami pierwszymi,
- Dla celów edukacyjnych używa małych liczb pierwszych (100-300),
- W praktyce RSA wymaga liczb o długości 2048+ bitów,
- Implementuje algorytm Euklidesa dla obliczenia NWD,
- Rozszerzony algorytm Euklidesa dla odwrotności modularnej,
- Szybkie potęgowanie modularne dla efektywnego szyfrowania,
- Format kluczy: "wykładnik,moduł" (np. "17,3233"),
- Każdy znak tekstu szyfrowany osobno,
- Wynik w postaci liczb rozdzielonych spacjami.

11.6 Jak wygenerować klucze RSA

Aplikacja mobilna posiada wbudowaną funkcję generowania kluczy RSA bezpośrednio w interfejsie użytkownika.

Generowanie kluczy w aplikacji (zalecane):

1. Wybierz algorytm RSA z listy
2. Kliknij przycisk **"Generuj klucze"** obok pola klucza
3. Aplikacja wyświetli okno z wygenerowanymi kluczami:
   - Klucz publiczny (do szyfrowania)
   - Klucz prywatny (do deszyfrowania)
4. Możesz skopiować klucze lub bezpośrednio użyć jednego z nich
5. Zapisz oba klucze w bezpiecznym miejscu!

Opcja 1: Użycie przykładowych kluczy testowych

- Klucz publiczny: `17,323` (e=17, n=323)
- Klucz prywatny: `233,323` (d=233, n=323)

Opcja 2: Wygenerowanie własnych kluczy w konsoli przeglądarki

Listing 1: Generowanie kluczy RSA w konsoli

```
// Skopiuj kod RSACipher do konsoli, a nastepnie:
const rsa = new RSACipher();
const keys = rsa.generateKeyPair();
console.log('Klucz publiczny:', rsa.formatPublicKey());
console.log('Klucz prywatny:', rsa.formatPrivateKey());
```

Opcja 3: Obliczenie ręczne (cel edukacyjny)

1. Wybierz dwie małe liczby pierwsze, np. p=17, q=19
2. Oblicz n = p × q = 323
3. Oblicz (n) = (p-1)(q-1) = 16 × 18 = 288
4. Wybierz e takie, że NWD(e, 288) = 1, np. e=17
5. Oblicz d = e^{-1} mod (n), np. d=233
6. Klucz publiczny: (17, 323), klucz prywatny: (233, 323)

11.7 Bezpieczeństwo

- RSA jest bezpieczny przy użyciu odpowiednio dużych kluczy (2048+ bitów),
- Bezpieczeństwo opiera się na trudności faktoryzacji dużych liczb,
- Zagrożenia:
  - Komputery kwantowe (algorytm Shora może złamać RSA),
  - Zbyt małe klucze (łatwa faktoryzacja),
  - Słabe generatory liczb pierwszych,
  - Ataki czasowe (timing attacks) przy nieodpowiedniej implementacji.
- Zalecenia:
  - Minimum 2048 bitów dla zastosowań praktycznych,
  - 3072-4096 bitów dla długoterminowego bezpieczeństwa,
  - Używanie sprawdzonych bibliotek kryptograficznych w produkcji.

11.8 Zastosowania

RSA jest wykorzystywany w:

- **Podpisy cyfrowe** – uwierzytelnianie dokumentów i oprogramowania,
- **Wymiana kluczy** – bezpieczne przesyłanie kluczy symetrycznych (SSL/TLS),
- **Certyfikaty SSL/TLS** – zabezpieczenie połączeń HTTPS,
- **SSH** – bezpieczne logowanie do serwerów,
- **PGP/GPG** – szyfrowanie poczty elektronicznej,
- **Blockchain** – weryfikacja transakcji w kryptowalutach.

11.9 RSA vs AES

Cecha	**RSA**	**AES**
Typ	Asymetryczny	Symetryczny
Klucze	Para: publiczny + prywatny	Jeden klucz dla obu stron
Szybkość	Wolniejszy (100-1000x)	Bardzo szybki
Rozmiar klucza	2048-4096 bitów	128-256 bitów
Wymiana klucza	Nie wymaga	Wymaga bezpiecznego kanału
Zastosowanie	Wymiana kluczy, podpisy	Szyfrowanie danych

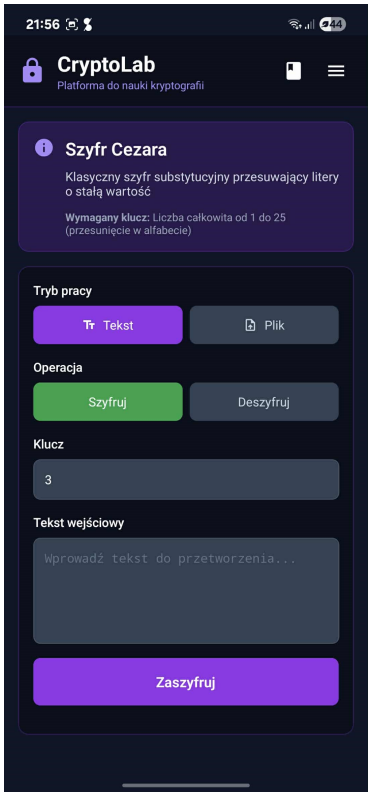
W praktyce RSA i AES są używane razem: RSA do bezpiecznej wymiany klucza AES, a następnie AES do szyfrowania właściwych danych (*hybrid cryptography*).

12 Wybrane fragmenty kodu

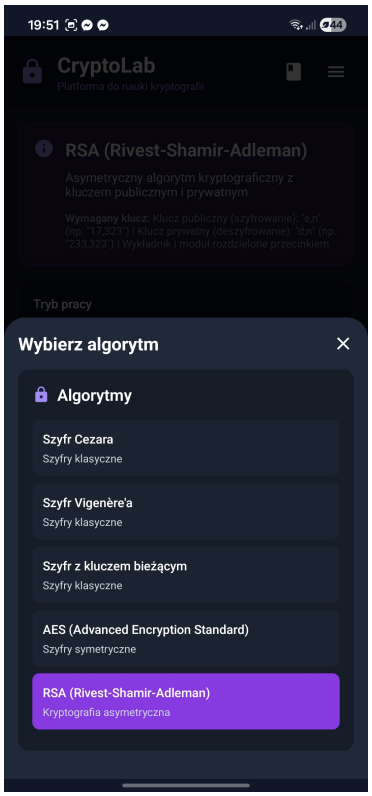
12.1 Klasa bazowa algorytmu

Listing 2: Klasa abstrakcyjna CryptographicAlgorithm

```
export default class CryptographicAlgorithm {
  name: string;
  description: string;
  category: string;

  encrypt(plaintext: string, key: string): string {
    throw new Error('Metoda encrypt() musi by zaimplementowana');
  }

  decrypt(ciphertext: string, key: string): string {
    throw new Error('Metoda decrypt() musi by zaimplementowana');
  }

  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    throw new Error('Metoda validateKey() musi by zaimplementowana');
  }

  getKeyRequirements(): string {
    throw new Error('Metoda getKeyRequirements() musi by
        zaimplementowana');
  }
}
```



Rysunek 5: Ekran główny aplikacji CryptoLab



Rysunek 6: Lista z możliwością wyboru algorytmu

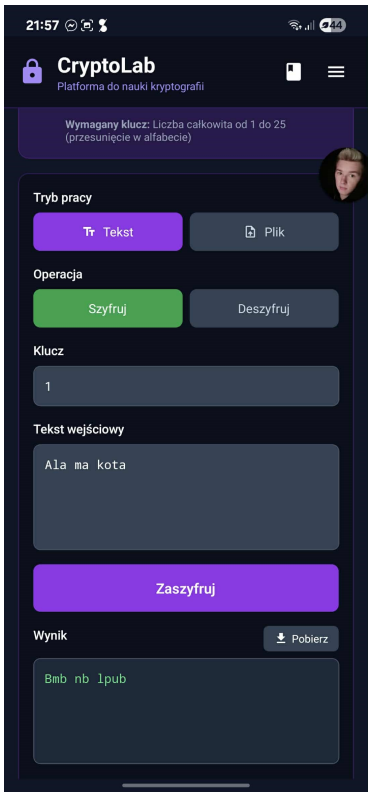
Rysunek **??** przedstawia ekran główny aplikacji CryptoLab Mobile, a rysunek **??** pokazuje listę dostępnych algorytmów kryptograficznych.

12.2 Implementacja szyfru Cezara

Listing 3: Szczegóły implementacji CaesarCipher

```
export default class CaesarCipher extends CryptographicAlgorithm {
  constructor() {
    super(
      'Szyfr Cezara',
      'Prosty szyfr substytucyjny z przesuni ciem',
      'Szyfry klasyczne'
    );
  }

  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    const numKey = parseInt(key, 10);
    if (isNaN(numKey) || numKey < 1 || numKey > 25) {
      return {
        valid: false,
        error: 'Klucz musi by  liczb  od 1 do 25'
      };
    }
    return { valid: true };
  }

  encrypt(plaintext: string, key: string): string {
    return this._process(plaintext, parseInt(key, 10));
```

```
  }

  decrypt(ciphertext: string, key: string): string {
    const shift = 26 - (parseInt(key, 10) % 26);
    return this._process(ciphertext, shift);
  }

  private _process(text: string, shift: number): string {
    return text.split('').map(char => {
      if (/[A-Za-z]/.test(char)) {
        const base = char === char.toUpperCase() ? 65 : 97;
        return String.fromCharCode(
          (char.charCodeAt(0) - base + shift) % 26 + base
        );
      }
      return char;
    }).join('');
  }
}
```



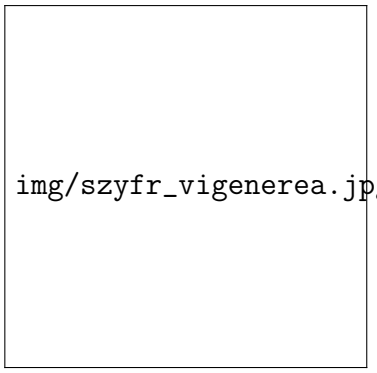
Rysunek 7: Test szyfru Cezara

Rysunek **??** przedstawia przykładowy test szyfru Cezara w aplikacji CryptoLab Mobile.

12.3 Implementacja szyfru Vigenère'a

Listing 4: Fragmenty klasy VigenereCipher

```
export default class VigenereCipher extends CryptographicAlgorithm {
  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    if (!key || key.trim().length === 0) {
      return { valid: false, error: 'Klucz nie mo e by  pusty' };
    }
    const hasOnlyLetters = /^[a-zA-Z]+$/.test(key);
    if (!hasOnlyLetters) {
      return { valid: false, error: 'Klucz mo e zawiera  tylko litery'
          };
    }
    return { valid: true };
  }

  private _process(text: string, key: string, encrypt: boolean): string
     {
    let result = '';
    let keyIndex = 0;
    const normalizedKey = key.toUpperCase();

    for (let i = 0; i < text.length; i++) {
      const char = text[i];
      if (/[A-Za-z]/.test(char)) {
        const base = char === char.toUpperCase() ? 65 : 97;
        const textCode = char.charCodeAt(0) - base;
        const keyCode = normalizedKey.charCodeAt(keyIndex %
           normalizedKey.length) - 65;

        const resultCode = encrypt
          ? (textCode + keyCode) % 26
          : (textCode - keyCode + 26) % 26;

        result += String.fromCharCode(resultCode + base);
        keyIndex++;
      } else {
        result += char;
      }
    }
    return result;
  }
}
```



Rysunek 8: Ekran szyfru Vigenere'a

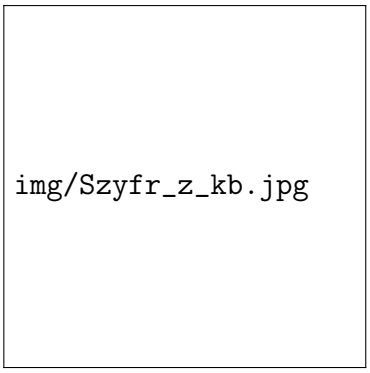
Rysunek **??** przedstawia interfejs użytkownika szyfru Vigenère'a w aplikacji CryptoLab Mobile.

12.4 Implementacja szyfru z kluczem bieżącym

Listing 5: Fragmenty klasy RunningKeyCipher

```
export default class RunningKeyCipher extends CryptographicAlgorithm {
  constructor() {
    super(
      'Szyfr z kluczem bie  cym',
      'Szyfr podobny do Vigen re\'a, ale u ywaj cy klucza o
         d ugo ci tekstu',
      'Szyfry klasyczne'
    );
  }

  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    if (!key || key.trim().length === 0) {
      return { valid: false, error: 'Klucz nie mo e by  pusty' };
    }

    // Sprawd  czy klucz zawiera tylko litery
    const hasOnlyLetters = /^[a-zA-Z\s]+$/.test(key);
    if (!hasOnlyLetters) {
      return { valid: false, error: 'Klucz mo e zawiera  tylko litery
         i spacje (A-Z, a-z)' };
    }

    // Policz tylko litery w kluczu
    const keyLettersCount = key.replace(/[^a-zA-Z]/g, '').length;
    if (keyLettersCount < 5) {
      return {
        valid: false,
        error: 'Klucz musi zawiera  co najmniej 5 liter (mo e
           zawiera  spacje)'
      };
    }

    return { valid: true };
  }
```

```
  getKeyRequirements(): string {
    return 'Tekst (np. fragment ksi   ki) - u yto generatora lorem
        ipsum do stworzenia klucza';
  }
```



Rysunek 9: Ekran szyfru z kluczem bieżącym

Rysunek **??** przedstawia interfejs użytkownika szyfru z kluczem bieżącym w aplikacji CryptoLab Mobile.

12.5 Implementacja szyfru AES

Listing 6: Fragmenty klasy AESCipher

```
export default class AESCipher extends CryptographicAlgorithm {
  private mode: AESMode;
  public static readonly DEFAULT_KEY = '2b7e151628aed2a6abf7158809cf4f3c
     ';

  constructor() {
    super(
      'AES (Advanced Encryption Standard)',
      'Symetryczny szyfr blokowy z mo liwo ci  wyboru trybu (ECB, CBC
         , CTR)',
      'Szyfry symetryczne'
    );
    this.mode = 'ECB'; // Domy lny tryb
  }

  // Ustawia tryb pracy AES
  setMode(mode: AESMode): void {
    this.mode = mode;
  }

  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    if (!key || key.trim().length === 0) {
      return { valid: false, error: 'Klucz nie mo e by  pusty' };
    }

    // Sprawd  czy klucz jest w formacie hex
    const hexPattern = /^[0-9a-fA-F]+$/;
    if (!hexPattern.test(key)) {
      return {
        valid: false,
        error: 'Klucz musi by  ci giem znak w szesnastkowych (0-9, A-
           F)'
      };
    }

    // Klucz musi mie  d ugo  32, 48 lub 64 znak w hex
    if (key.length !== 32 && key.length !== 48 && key.length !== 64) {
      return {
        valid: false,
        error: 'Klucz musi mie  d ugo  32 (AES-128), 48 (AES-192)
           lub 64 (AES-256)'
      };
    }

    return { valid: true };
  }

  getKeyRequirements(): string {
    return `Tryb: ${this.mode} | Klucz hex: 32 znaki (AES-128),
      48 (AES-192) lub 64 (AES-256)`;
  }

  // G  wne metody szyfrowania wykorzystuj ce wybrany tryb
  encrypt(plaintext: string, key: string): string {
```

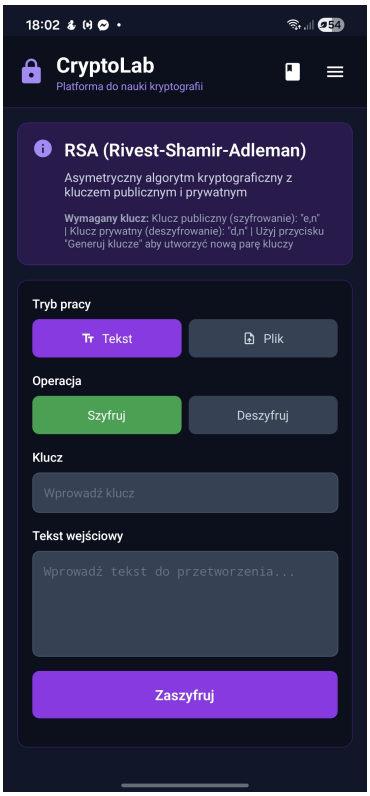
```
    if (this.mode === 'ECB') {
      return this.encryptECB(plaintext, key);
    } else if (this.mode === 'CBC') {
      return this.encryptCBC(plaintext, key);
    } else if (this.mode === 'CTR') {
      return this.encryptCTR(plaintext, key);
    }
    throw new Error(`Tryb ${this.mode} nie jest obsugiwany`);
  }
}
```

12.6 Implementacja szyfru RSA

Listing 7: Fragmenty klasy RSACipher

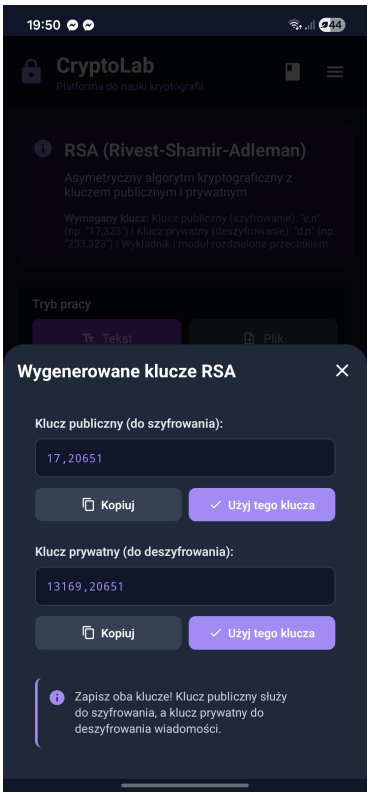
```
export default class RSACipher extends CryptographicAlgorithm {
  private keyPair: RSAKeyPair | null = null;

  constructor() {
    super(
      'RSA (Rivest-Shamir-Adleman)',
      'Asymetryczny algorytm kryptograficzny z kluczem publicznym i
         prywatnym',
      'Kryptografia asymetryczna'
    );
  }

  // Generuje pare kluczy RSA
  generateKeyPair(bitSize: number = 512): RSAKeyPair {
    const min = bitSize === 512 ? 100 : 50;
    const max = bitSize === 512 ? 300 : 100;

    // Generuj dwie rozne liczby pierwsze
    const p = generatePrime(min, max);
    let q = generatePrime(min, max);
    while (q === p) {
      q = generatePrime(min, max);
    }

    const n = p * q;  // Modul
    const phi = (p - 1) * (q - 1);  // Funkcja Eulera

    // Wybierz e (wykladnik publiczny)
    let e = 65537;
    if (e >= phi) e = 17;
    while (gcd(e, phi) !== 1) {
      e++;
    }

    // Oblicz d (wykladnik prywatny)
    const d = modInverse(e, phi);

    this.keyPair = {
      publicKey: { e, n },
      privateKey: { d, n }
    };
```

```
    return this.keyPair;
  }

  encrypt(plaintext: string, key: string): string {
    const [e, n] = key.split(',').map(p => parseInt(p.trim(), 10));

    const encrypted: number[] = [];
    for (let i = 0; i < plaintext.length; i++) {
      const charCode = plaintext.charCodeAt(i);

      // Szyfrowanie: c = m^e mod n
      const encryptedChar = Number(
        modPow(BigInt(charCode), BigInt(e), BigInt(n))
      );
      encrypted.push(encryptedChar);
    }

    return encrypted.join(' ');
  }

  decrypt(ciphertext: string, key: string): string {
    const [d, n] = key.split(',').map(p => parseInt(p.trim(), 10));
    const encryptedNumbers = ciphertext.trim().split(/\s+/)
      .map(s => parseInt(s, 10));

    const decrypted: string[] = [];
    for (const encryptedChar of encryptedNumbers) {
      // Deszyfrowanie: m = c^d mod n
      const decryptedChar = Number(
        modPow(BigInt(encryptedChar), BigInt(d), BigInt(n))
      );
      decrypted.push(String.fromCharCode(decryptedChar));
    }

    return decrypted.join('');
  }
}
```



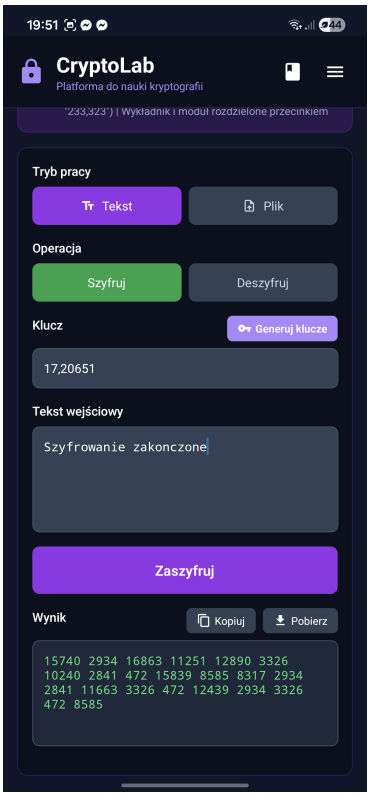
Rysunek 10: Ekran szyfru RSA

Rysunek **??** przedstawia interfejs użytkownika szyfru RSA w aplikacji CryptoLab Mobile.



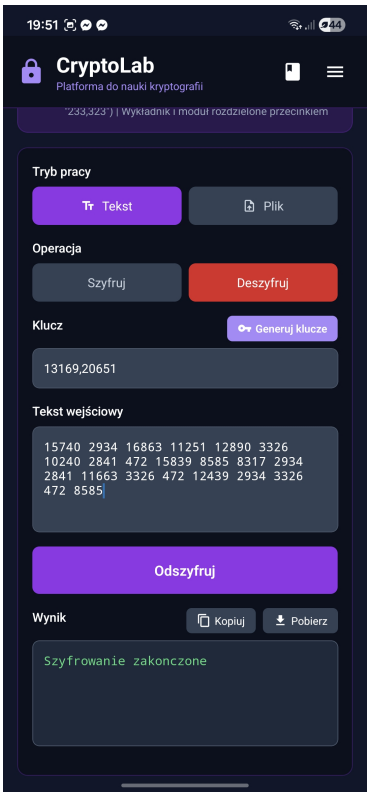
Rysunek 11: Generowanie kluczy RSA

Rysunek **??** przedstawia ekran generowania kluczy RSA w aplikacji CryptoLab Mobile.



Rysunek 12: Test szyfru RSA

Rysunek **??** przedstawia przykładowy test szyfru RSA w aplikacji CryptoLab Mobile.



Rysunek 13: Deszyfrowanie w szyfrze RSA

Rysunek **??** przedstawia ekran deszyfrowania w szyfrze RSA w aplikacji CryptoLab Mobile.

13 Podsumowanie

13.1 Szyfr Cezara

Szyfr Cezara należy do najstarszych i najprostszych technik szyfrowania. Jego główna idea polega na przesuwaniu liter alfabetu o ustaloną liczbę pozycji. Mimo że w praktyce jest to jedynie przykład historyczny, implementacja szyfru pozwala lepiej zrozumieć podstawowe mechanizmy kryptografii, takie jak klucz, szyfrowanie i deszyfrowanie.

Zalety:

- bardzo prosta implementacja,
- szybkie działanie,
- dobre ćwiczenie dydaktyczne.

Wady:

- niska odporność na ataki kryptograficzne,
- atak brute-force łatwe przełamuje szyfr w sekundach,
- podatny na analizę częstotliwości.

13.2 Szyfr Vigenère'a

Szyfr Vigenère'a to znacznie bardziej zaawansowany szyfr polialfabetyczny. Przez wieki uważany był za niezniszczalny, ale ostatecznie został przełamany dzięki analizie częstotliwości długości okresu.

Zalety:

- znacznie bardziej bezpieczny niż szyfr Cezara,
- odporne na prostą analizę częstotliwości,
- wykorzystuje koncepcję słowa-klucza, co jest intuicyjne.

Wady:

- niska odporność na ataki kryptograficzne (możliwy atak siłowy poprzez sprawdzenie wszystkich przesunięć),
- brak zastosowania we współczesnych systemach bezpieczeństwa,
- szyfr działa jedynie na ograniczonym zbiorze znaków (najczęściej alfabet łaciński).

13.3 Szyfr z kluczem bieżącym

Szyfr z kluczem bieżącym to krok w kierunku szyfrowania jednorazowego.

Zalety:

- gdy klucz jest losowy i używany raz – teoretycznie nie do złamania,
- koncepcja zbliża się do rzeczywistego bezpieczeństwa informacyjnego,
- edukacyjnie pokazuje znaczenie losowości klucza.

Wady:

- wymaga przechowywania bardzo długich kluczy,
- wymaga absolutnej losowości i jednorazowego użycia,
- niepraktyczne w większości rzeczywistych zastosowań.

13.4 Szyfr AES

AES (Advanced Encryption Standard) to nowoczesny szyfr symetryczny, który stanowi podstawę współczesnej kryptografii. W przeciwieństwie do szyfrów klasycznych, AES jest używany w realnych systemach bezpieczeństwa na całym świecie.

Zalety:

- wysoki poziom bezpieczeństwa – odporny na wszystkie znane praktyczne ataki,
- elastyczność – obsługa trzech długości kluczy (128, 192, 256 bitów),
- różne tryby pracy (ECB, CBC, CTR) dostosowane do różnych zastosowań,
- szybkie działanie przy zachowaniu bezpieczeństwa,
- szeroko stosowany i przetestowany w praktyce,
- standaryzowany przez NIST i akceptowany globalnie.

Wady:

- znacznie bardziej złożona implementacja niż szyfry klasyczne,
- wymaga zrozumienia trybów pracy i ich właściwości,
- tryb ECB jest niebezpieczny i nie powinien być stosowany w praktyce,
- wymaga bezpiecznego zarządzania kluczami i wektorami inicjalizującymi (IV),
- jako szyfr symetryczny, wymaga bezpiecznego przekazania klucza obu stronom komunikacji.

Zastosowanie edukacyjne:

- pokazuje różnicę między kryptografią klasyczną a nowoczesną,
- wprowadza pojęcia: tryby pracy, padding, wektor inicjalizujący (IV),
- demonstruje znaczenie wyboru odpowiedniego trybu pracy,
- ilustruje jak działa rzeczywiste szyfrowanie stosowane w praktyce.

13.5 Szyfr RSA

RSA to przełomowy algorytm kryptografii asymetrycznej, który rozwiązał fundamentalny problem bezpiecznej wymiany kluczy i wprowadził koncepcję kluczy publicznych.

Zalety:

- rozwiązuje problem wymiany kluczy – nie wymaga bezpiecznego kanału,
- umożliwia podpisy cyfrowe i uwierzytelnianie,
- bezpieczny przy odpowiednio dużych kluczach (2048+ bitów),
- szeroko stosowany i przetestowany w praktyce,
- fundamentalna technologia dla PKI (Public Key Infrastructure),
- umożliwia szyfrowanie hybrydowe w połączeniu z AES.

Wady:

- znacznie wolniejszy niż algorytmy symetryczne (100-1000x),
- wymaga dużych kluczy (2048-4096 bitów) dla bezpieczeństwa,
- zagrożenie ze strony komputerów kwantowych,
- złożona implementacja – łatwo popełnić błędy bezpieczeństwa,
- nie nadaje się do szyfrowania dużych ilości danych.

Zastosowanie edukacyjne:

- wprowadza fundamentalną różnicę między kryptografią symetryczną i asymetryczną,
- pokazuje matematyczne podstawy bezpieczeństwa (teoria liczb),
- ilustruje koncepcję klucza publicznego i prywatnego,
- demonstruje praktyczne zastosowania: wymiana kluczy, podpisy cyfrowe,
- pozwala zrozumieć jak działa HTTPS, SSH i inne protokoły bezpieczeństwa.

RSA w praktyce: W rzeczywistych systemach RSA rzadko jest używany do bezpośredniego szyfrowania danych. Zamiast tego stosuje się **szyfrowanie hybrydowe**:

1. Generowany jest losowy klucz AES (symetryczny),
2. Dane szyfrowane są szybkim algorytmem AES,
3. Klucz AES szyfrowany jest wolnym, ale bezpiecznym RSA,
4. Przesyłany jest zaszyfrowany klucz AES + zaszyfrowane dane.

To połączenie zapewnia zarówno bezpieczeństwo RSA, jak i szybkość AES.

14 Changelog

- **14.10.2025** Implementacja szyfru Cezara (szyfrowanie, deszyfrowanie, walidacja klucza) oraz podstawowe GUI.

- **20.10.2025** Dodanie szyfru Vigenère'a i szyfru z kluczem bieżącym.
  Ulepszenie interfejsu użytkownika.
  Implementacja AlgorithmRegistry z wzorcem Singleton.
  Ulepszenie walidacji kluczy z szczegółowymi komunikatami o błędach.

- **28.10.2025** Implementacja szyfru AES (Advanced Encryption Standard) z obsługą trzech trybów pracy: ECB, CBC, CTR.
  Wsparcie dla kluczy AES-128, AES-192 i AES-256.
  Dodanie paddingu PKCS#7 i obsługi wektorów inicjalizujących (IV).
  Pełna implementacja algorytmu AES bez użycia zewnętrznych bibliotek kryptograficznych.

- **16.11.2025** Implementacja algorytmu RSA (Rivest-Shamir-Adleman) – pierwszy algorytm kryptografii asymetrycznej w aplikacji.
  Generowanie par kluczy publiczny/prywatny z losowymi liczbami pierwszymi.
  Implementacja algorytmu Euklidesa, rozszerzonego algorytmu Euklidesa i szybkiego potęgowania modularnego.
  Dodanie kategorii "Kryptografia asymetryczna" w rejestrze algorytmów.
  Wprowadzenie koncepcji szyfrowania hybrydowego w dokumentacji.
  Dodanie GUI do generowania kluczy RSA – przycisk "Generuj klucze" z modalem wyświetlającym klucz publiczny i prywatny, możliwość kopiowania i bezpośredniego użycia kluczy w aplikacji.