

# 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 doskonale 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                (główny komponent)
  package.json           (zależności 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
    bieżącym)
      AESCipher.ts             (szyfr AES)
      RSACipher.ts             (szyfr RSA)
      AlgorithmRegistry.ts      (rejestr algorytmów)
    components/
      AlgorithmSidebar.tsx     (panel z algorytmami)
    utils/
      fileUtils.ts             (obsługa plików)
  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  $|k| \geq |x|$  (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 edukacyjnej 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 następcę 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

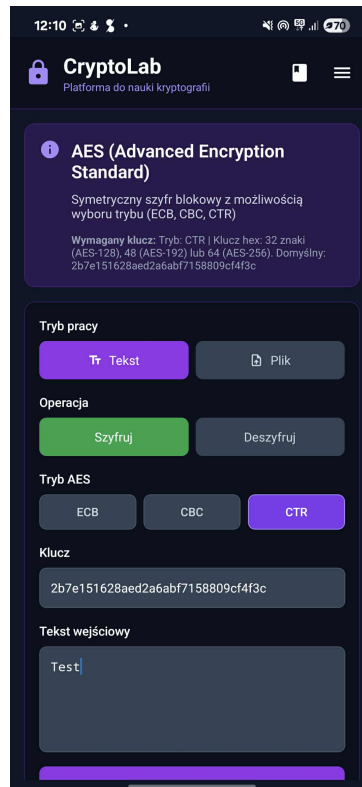
AES to szyfr **blokowy**, który operuje na blokach danych o długości 128 bitów (16 bajtów). W przeciwieństwie do szyfrów klasycznych, AES wykorzystuje skomplikowane operacje matematyczne na macierzach bajtów, w tym podstawienia (S-Box), permutacje, mieszanie kolumn i dodawanie klucza rundowego.

### 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:

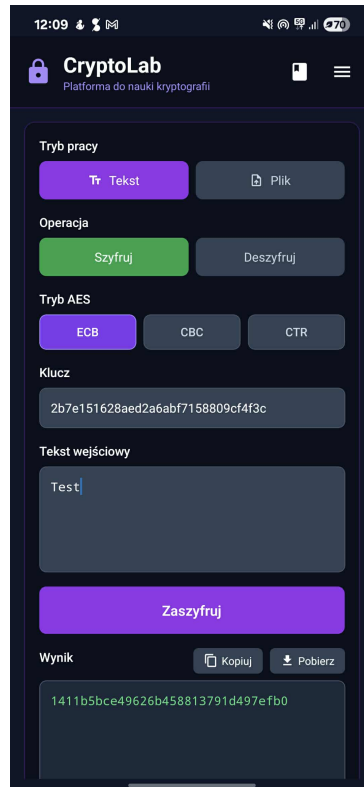
**ECB (Electronic Codebook)** Najprostszy tryb – każdy blok szyfrowany jest niezależnie tym samym kluczem. **Niezalecany** w praktyce, ponieważ identyczne bloki tekstu jawnego dają identyczne bloki szyfrogramu, co może ujawnić wzorce w danych. Rysunek ?? przedstawia przykładowe szyfrowanie tekstu w trybie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

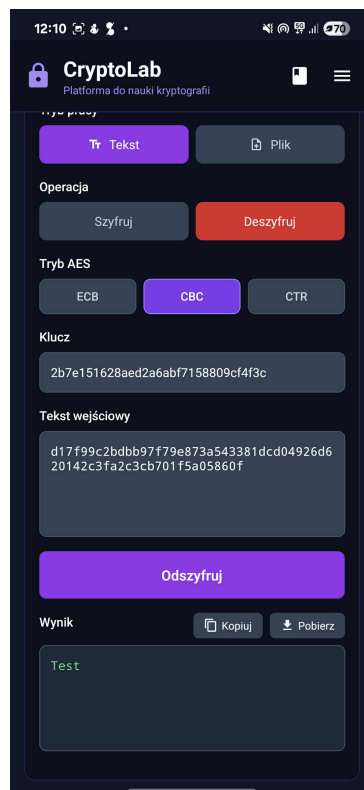
**CTR (Counter Mode)** Przekształca szyfr blokowy w szyfr strumieniowy. Szyfruje kolejne wartości licznika, a wyniki XOR-uje z blokami tekstu jawnego. Umożliwia równoległe szyfrowanie i deszyfrowanie. Rysunek ?? przedstawia przykładowe szyfrowanie tekstu w trybie CTR.

## 10.5 Struktura algorytmu AES

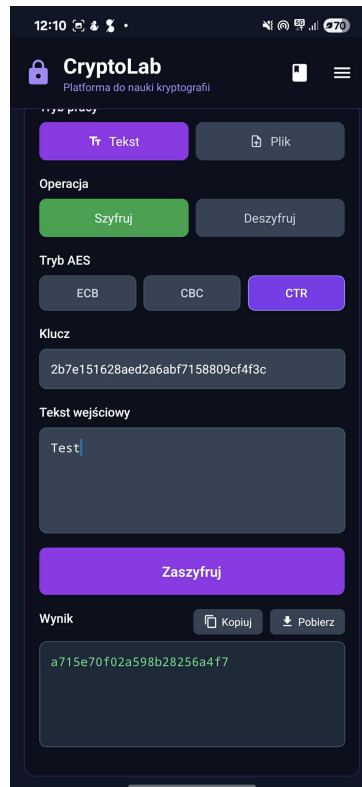
Algorytm AES składa się z następujących kroków (dla każdej rundy):



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  $p = 61$ ,  $q = 53$ :  $n = 61 \cdot 53 = 3233$

$\phi(n) = 60 \cdot 52 = 3120$

$e = 17$  ( $\text{nwd}(17, 3120) = 1$ )

$d = 2753$  ( $17 \cdot 2753 \equiv 1 \pmod{3120}$ )

**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 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.

## 11.7 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.

## 11.8 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 1: Klasa abstrakcyjna CryptographicAlgorithm

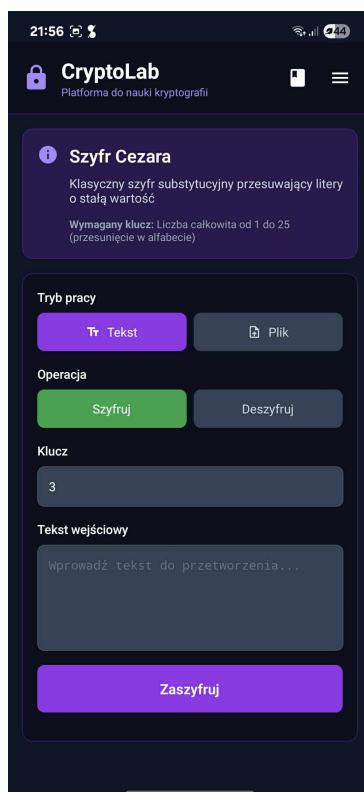
```
export default class CryptographicAlgorithm {
  name: string;
  description: string;
  category: string;

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

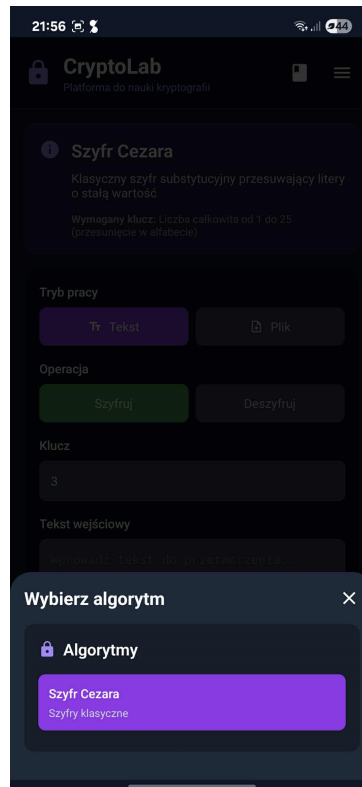
  decrypt(ciphertext: string, key: string): string {
    throw new Error('Metoda decrypt() musi by zaimplementowana');
  }

  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 2: Szczegóły implementacji CaesarCipher

```
export default class CaesarCipher extends CryptographicAlgorithm {
  constructor() {
    super(
      'Szyfr Cezara',
      'Prosty szyfr substytucyjny z przesunięciem',
      '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 być liczbą od 1 do 25'
      };
    }
    return { valid: true };
  }

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

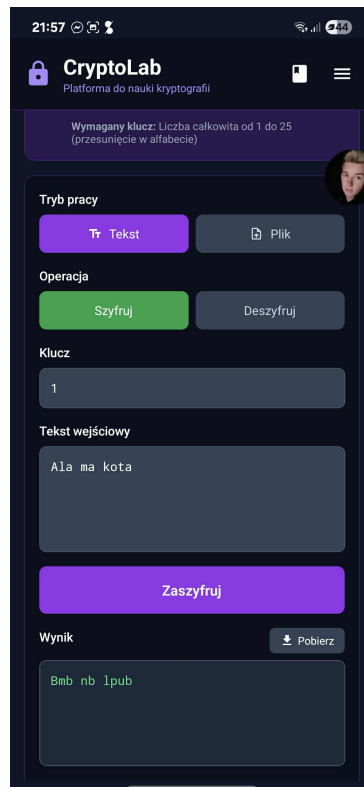
```

}

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 3: Fragmenty klasy VigenereCipher

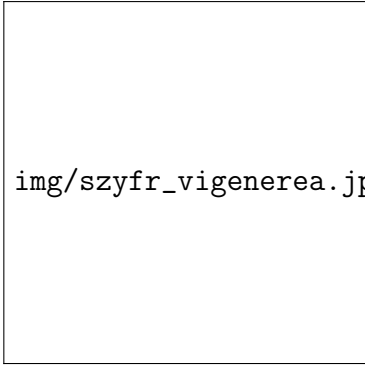
```
export default class VigenereCipher extends CryptographicAlgorithm {
  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    if (!key || key.trim().length === 0) {
      return { valid: false, error: 'Klucz nie może być pusty' };
    }
    const hasOnlyLetters = /^[a-zA-Z]+$/.test(key);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



img/szyfr\_vigenerea.jpg

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 4: Fragmenty klasy RunningKeyCipher

```
export default class RunningKeyCipher extends CryptographicAlgorithm {
  constructor() {
    super(
      'Szyfr z kluczem bieżącym',
      'Szyfr podobny do Vigenere\'a, ale używaj cy klucza o długości tekstu',
      'Szyfry klasyczne'
    );
  }

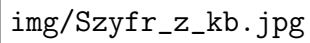
  validateKey(key: string): { valid: boolean; error?: string } {
    if (!key || key.trim().length === 0) {
      return { valid: false, error: 'Klucz nie może być pusty' };
    }

    // Sprawdź czy klucz zawiera tylko litery
    const hasOnlyLetters = /^[a-zA-Z\s]+$/.test(key);
    if (!hasOnlyLetters) {
      return { valid: false, error: 'Klucz może zawierać 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 zawierać co najmniej 5 liter (może zawierać 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 5: 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 możliwością wyboru trybu (ECB, CBC, CTR)',
      'Szyfry symetryczne'
    );
    this.mode = 'ECB'; // Domyślny 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 może być pusty' };
    }

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

    // Klucz musi mieć długość 32, 48 lub 64 znaków w hex
    if (key.length !== 32 && key.length !== 48 && key.length !== 64) {
      return {
        valid: false,
        error: 'Klucz musi mieć długość 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)`;
  }

  // Główne metody szyfrowania wykorzystujące 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 obs ugiwany ');
}
}

```

## 12.6 Implementacja szyfru RSA

Listing 6: 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:  $c = m^e \bmod n$ 
        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:  $m = c^d \bmod n$ 
        const decryptedChar = Number(
            modPow(BigInt(encryptedChar), BigInt(d), BigInt(n))
        );
        decrypted.push(String.fromCharCode(decryptedChar));
    }

    return decrypted.join('');
}
}

```

## 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 łatwo 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.