





# POLSKO-JAPOŃSKA AKADEMIA TECHNIK KOMPUTEROWYCH

## Wydział Informatyki

Specjalizacja: Technologie sieci urządzeń  
mobilnych oraz chmury obliczeniowej

**Szymon Kogut**

Numer albumu: 24271

## Porównanie modeli scentralizowanych i rozproszonych w wirtualnych sieciach prywatnych

Comparison of centralized and distributed  
models in virtual private networks

**Rodzaj pracy**

Magisterska

**Imię i nazwisko promotora**

dr Tadeusz Puźniakowski

Warszawa 16 stycznia 2026

**Streszczenie:** Celem pracy jest weryfikacja różnych modeli i protokołów sieci wirtualnych pod kątem stabilności w restrykcyjnym środowisku oraz łatwości utrzymania w projektach o niskim stopniu złożoności infrastrukturalnej.

Porównaniem objęto następujące protokoły: OpenVPN (topologia scentralizowana), Nebula (topologia rozproszona) oraz WireGuard (obie topologie). Przygotowano skrypty automatyzujące proces wdrażania.

W ramach badań przeprowadzono testy wydajnościowe przepustowości, opóźnień i obciążenia zasobów. Zbadano stabilność połączeń w restrykcyjnych warunkach sieciowych oraz oceniono skalowalność poszczególnych rozwiązań przy zwiększaniu liczby węzłów.

W pracy dodatkowo zawarto ocenę łatwości wdrożenia poszczególnych rozwiązań.

**Słowa kluczowe:** vpn, openvpn, nebula, wireguard



# POLSKO-JAPOŃSKA AKADEMIA TECHNIK KOMPUTEROWYCH

## Karta projektu

Autor	Promotor	Recenzent
Szymon Kogut	dr Tadeusz Puźniakowski	-

Temat projektu
Porównanie modeli scentralizowanych i rozproszonych w wirtualnych sieciach prywatnych.

Cel projektu
Ocena różnych modeli i protokołów sieci wirtualnych pod kątem stabilności w restrykcyjnym środowisku oraz łatwości utrzymania w projektach o niskim stopniu złożoności infrastrukturalnej.

Zakres projektu
Analiza architektury scentralizowanej i rozproszonej; Przegląd protokołów OpenVPN, WireGuard i Nebula; Automatyzacja wdrożenia; Konfiguracja OpenVPN i Nebula; Konfiguracja WireGuard w modelu scentralizowanym; Konfiguracja WireGuard w modelu rozproszonym; Badanie wydajności; Badanie stabilności połączenia w restrykcyjnym środowisku sieciowym; Badanie skalowalności;

Wykluczenia
Audyt bezpieczeństwa; Analiza kodu źródłowego protokołów; Komercyjne wdrożenie produkcyjne;

# Spis treści

01. Wstęp .....	2
02. Architektury i protokoły sieci wirtualnych .....	2
02.1. Modele architektury .....	2
02.1.1. Model scentralizowany .....	2
02.1.2. Model rozproszony .....	2
02.2. Problematyka łączności w sieciach IP .....	2
02.2.1. Tunelowanie i enkapsulacja .....	2
02.2.2. Problemy translacji adresów .....	2
02.3. Charakterystyka badanych protokołów .....	2
02.3.1. ....	2
03. Metodyka badań .....	2
03.1. Narzędzia pomiarowe i metryki .....	2
03.1.1. ....	2
03.2. Metodyka oceny złożoności wdrożenia .....	2
03.2.1. ....	2
03.3. Scenariusze testowe .....	2
03.3.1. ....	2
04. Projekt i implementacja .....	2
04.1. Automatyzacja procesu wdrażania .....	2
04.1.1. ....	2
04.2. Konfiguracja OpenVPN .....	2
04.2.1. ....	2
04.3. Konfiguracja WireGuard w modelu rozproszonym .....	2
04.3.1. ....	2
04.4. Konfiguracja WireGuard w modelu scentralizowanym .....	2
04.4.1. ....	2
04.5. Problemy napotkane podczas implementacji .....	2
04.5.1. ....	2
05. Analiza wyników .....	2
05.1. Badanie wydajności sieciowej .....	2
05.1.1. ....	2
05.2. Analiza obciążenia zasobów systemowych .....	2
05.2.1. ....	2
05.3. Odporność na trudne warunki sieciowe .....	2
05.3.1. ....	2
05.4. Analiza skalowalności .....	2
05.4.1. ....	2
05.5. Ocena złożoności konfiguracji i utrzymania .....	2
05.5.1. ....	2
06. Podsumowanie .....	2
06.1. Synteza wyników .....	2
06.1.1. ....	2
06.2. Wnioski końcowe .....	2
06.2.1. ....	2
07. Słownik pojęć .....	3

08. Architektury i protokoły sieci wirtualnych.....	4
09. Metodologia badań.....	5
10. Wyniki pomiarów.....	6
11. Interpretacja wyników.....	7
12. Wnioski .....	8
13. Bibliografia.....	9
14. Załączniki.....	10

# Spis rysunków





## 01. Wstęp

## 02. Architektury i protokoły sieci wirtualnych

### 02.1. Modele architektury

#### 02.1.1. Model scentralizowany

#### 02.1.2. Model rozproszony

### 02.2. Problematyka łączności w sieciach IP

#### 02.2.1. Tunelowanie i enkapsulacja

#### 02.2.2. Problemy translacji adresów

### 02.3. Charakterystyka badanych protokołów

#### 02.3.1. OpenVPN

#### 02.3.2. WireGuard

#### 02.3.3. Nebula

## 03. Metodyka badań

### 03.1. Narzędzia pomiarowe i metryki

### 03.2. Metodyka oceny złożoności wdrożenia

### 03.3. Scenariusze testowe

#### 03.3.1. Scenariusz bazowy

#### 03.3.2. Scenariusz restrykcyjny

#### 03.3.3. Scenariusz skalowalności

## 04. Projekt i implementacja

### 04.1. Automatyzacja procesu wdrażania

### 04.2. Konfiguracja OpenVPN

### 04.3. Konfiguracja WireGuard w modelu rozproszonym

### 04.4. Konfiguracja WireGuard w modelu scentralizowanym

### 04.5. Problemy napotkane podczas implementacji

## 05. Analiza wyników

### 05.1. Badanie wydajności sieciowej

### 05.2. Analiza obciążenia zasobów systemowych

### 05.3. Odporność na trudne warunki sieciowe

## 07. Słownik pojęć

### 1. Lorem - Ipsum

```
open fun testFunction() {  
    isEnabled = "chzęścić"  
}
```

## 08. Architektury i protokoły sieci wirtualnych

## 09. Metodologia badań

## 10. Wyniki pomiarów

## 11. Interpretacja wyników

## 12. Wnioski

## 13. Bibliografia

Podane adresy URL zostały sprawdzone dnia 1 grudnia 2024.



## 14. Załączniki

Wszystkie załączniki znajdują się na załączonym do pracy dysku optycznym.

1. Lorem ipsum dolor sit amet
2. Lorem ipsum dolor sit amet
3. Lorem ipsum dolor sit amet