





# 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 18 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 centralizowana), 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

# Spis treści

01. Wstęp .....	1
02. Słownik pojęć .....	2
03. Restrykcyjne środowisko sieciowe .....	3
04. Badane modele .....	4
05. Model scentralizowany .....	4
06. Model rozproszony .....	4
07. Badane protokoły .....	5
07.1. OpenVPN .....	5
07.2. WireGuard .....	5
07.3. Nebula .....	5
08. Metodyka badań .....	6
08.1. Narzędzia pomiarowe i metryki .....	6
08.2. Metodyka oceny złożoności wdrożenia .....	6
08.3. Scenariusze testowe .....	6
08.3.1. Scenariusz bazowy .....	6
08.3.2. Scenariusz restrykcyjny .....	6
08.3.3. Scenariusz skalowalności .....	6
09. Konfiguracja środowiska .....	7
09.1. Automatyzacja procesu wdrażania .....	7
09.2. Konfiguracja OpenVPN .....	7
09.3. Konfiguracja WireGuard w modelu rozproszonym .....	7
09.4. Konfiguracja WireGuard w modelu scentralizowanym .....	7
09.5. Problemy napotkane podczas implementacji .....	7
10. Analiza wyników .....	8
10.1. Badanie wydajności sieciowej .....	8
10.2. Analiza obciążenia zasobów systemowych .....	8
10.3. Odporność na trudne warunki sieciowe .....	8
10.4. Analiza skalowalności .....	8
10.5. Ocena złożoności konfiguracji i utrzymania .....	8
11. Podsumowanie .....	9
11.1. Synteza wyników .....	9
11.2. Wnioski końcowe .....	9
12. Bibliografia .....	10
13. Załączniki .....	11

# **Spis rysunków**

## 01. Wstęp

Internet początkowo rozwijał się jako zdecentralizowana sieć tworzona oddolnie przez niezależne podmioty. Z czasem usługi świadczone za jego pośrednictwem zyskały na znaczeniu a wraz z tym uległy monopolizacji przez duże korporacje.

Aspekty takie jak suwerenność danych, ochrona prywatności, ograniczenie kosztów czy potrzeba autonomii to czynniki motywujące użytkowników indywidualnych oraz małe przedsiębiorstwa do zwrócenia się w stronę samodzielnego utrzymywania infrastruktury usług na potrzeby własne.

Niezastąpione przy takim podejściu są sieci wirtualne. Łączą one urządzenia, niezależnie od ich fizycznej lokalizacji. Jest to niezbędne dla zachowania pełni funkcjonalności w porównaniu z komercyjnymi rozwiązaniami.

Niniejsza praca ma na celu przegląd dostępnych rozwiązań z zakresu sieci wirtualnych. Celem jest znalezienie optymalnego rozwiązania dostosowanego do skali projektów o niskim stopniu złożoności infrastrukturalnej.

W związku z powyższym, przy analizie skupiono się nie tylko na pomiarze syntetycznej wydajności poszczególnych rozwiązań, ale również zbadano skalowalność, łatwość wdrożenia oraz stabilność pracy w restrykcyjnych warunkach sieciowych.

## 02. Słownik pojęć

1. **Łorem** – *Ipsum*

## **03. Restrykcyjne środowisko sieciowe**

**04. Badane modele**

**05. Model scentralizowany**

**06. Model rozproszony**

## **07. Badane protokoły**

**07.1. OpenVPN**

**07.2. WireGuard**

**07.3. Nebula**

## **08. Metodyka badań**

**08.1. Narzędzia pomiarowe i metryki**

**08.2. Metodyka oceny złożoności wdrożenia**

**08.3. Scenariusze testowe**

**08.3.1. Scenariusz bazowy**

**08.3.2. Scenariusz restrykcyjny**

**08.3.3. Scenariusz skalowalności**

## **09. Konfiguracja środowiska**

**09.1. Automatyzacja procesu wdrażania**

**09.2. Konfiguracja OpenVPN**

**09.3. Konfiguracja WireGuard w modelu rozproszonym**

**09.4. Konfiguracja WireGuard w modelu scentralizowanym**

**09.5. Problemy napotkane podczas implementacji**

## **10. Analiza wyników**

**10.1. Badanie wydajności sieciowej**

**10.2. Analiza obciążenia zasobów systemowych**

**10.3. Odporność na trudne warunki sieciowe**

**10.4. Analiza skalowalności**

**10.5. Ocena złożoności konfiguracji i utrzymania**

## **11. Podsumowanie**

### **11.1. Synteza wyników**

### **11.2. Wnioski końcowe**

## **12. Bibliografia**

Podane adresy URL zostały sprawdzone dnia 1 grudnia 2024.

## **13. 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