

BIAŁA KSIĘGA

Marzec 2026

## Streszczenie

Przyspieszenie przemysłowej cyfryzacji oraz gwałtowny wzrost liczby urządzeń dołączonych do Internetu rzeczy (IoT - Internet of Things) przyczyniają się bezpośrednio do wzrostu zapotrzebowania na prywatne sieci komórkowe 5G (5G PCN - Private Cellular Network).

Sieć 5G PCN przynosi szczególne korzyści organizacjom i gałęziom przemysłu, w których niezawodna, bezpieczna i szybka łączność bezprzewodowa ma kluczowe znaczenie. Umożliwia wykorzystanie zaawansowanych zastosowań i doskonale odpowiada na rosnące zapotrzebowanie w zakresie automatyki przemysłowej.

Sieć 5G PCN w porównaniu z siecią Wi-Fi® zapewnia lepszy zasięg w zastosowaniach zewnętrznych, charakteryzuje się większą przepustowością i jest w stanie obsłużyć więcej urządzeń niż tradycyjne sieci komórkowe (3G / 4G). Pozwala ponadto użytkownikom na posiadanie i projektowanie własnych systemów zgodnie z indywidualnymi potrzebami. Sieć 5G PCN jest znaczącą inwestycją, ale – w porównaniu z instalacją przewodową – pozwala obniżyć koszty dzięki wyeliminowaniu konieczności wykonywania wykopów pod okablowanie oraz poprawie efektywności pracy.

Sieci komórkowe znacząco się rozwinęły na przestrzeni lat, przechodząc do kolejnych generacji, a każda z nich charakteryzowała się gwałtownymi zmianami w zakresie przepustowości oraz możliwości dołączania urządzeń mobilnych.

# Spis treści

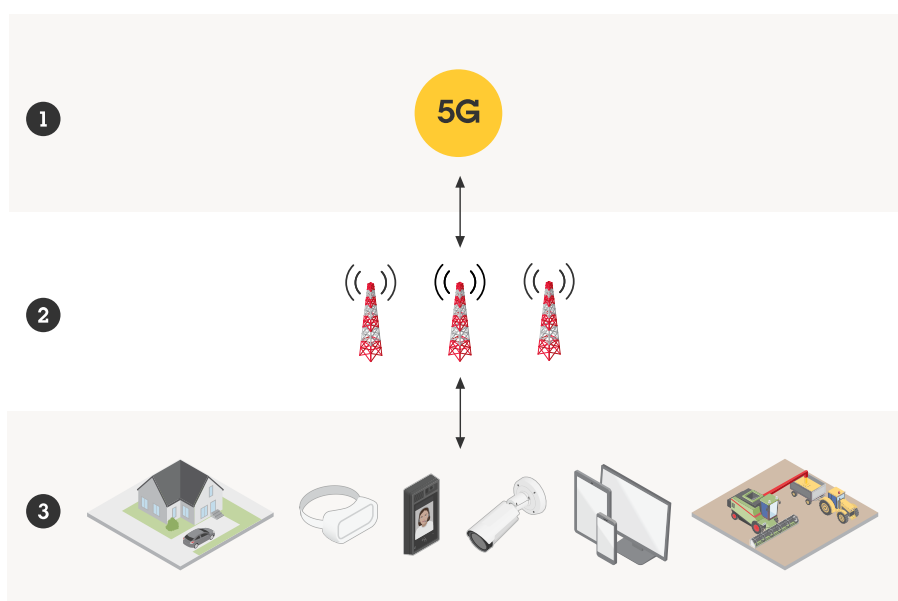
1	Wprowadzenie	4
2	Zalety prywatnej sieci komórkowej 5G	6
3	Przykłady zastosowań prywatnych sieci komórkowych 5G	7
4	Różnice pomiędzy prywatnymi a publicznymi sieciami komórkowymi	8
5	Kwestie związane z bezpieczeństwem i prywatnością w prywatnych sieciach komórkowych 5G	10
6	5G a dozór wizyjny	10

# 1 Wprowadzenie

W niniejszej białej księdze termin „prywatna sieć komórkowa” oznacza sieć, która posiada własną bazę i wykorzystuje technologię komórkową do zapewnienia łączności w określonej lokalizacji. Sieć bazowa pełni rolę inteligentnego centrum sterowania sieci PCN i odpowiada między innymi za zarządzanie ruchem danych, uwierzytlanianie, sesje użytkowników, bezpieczeństwo oraz konfigurację usług.

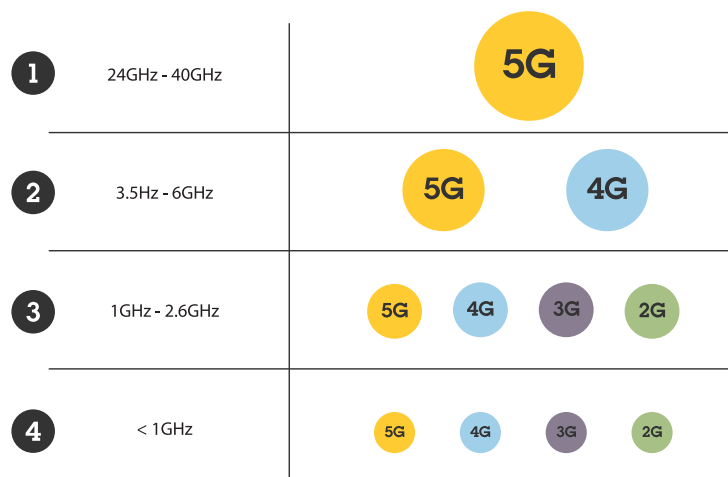
W odróżnieniu od publicznych sieci komórkowych, które są obsługiwane przez operatorów sieci komórkowych (MNO – Mobile Network Operator) i przeznaczone dla ogółu społeczeństwa prywatne sieci komórkowe są zaprojektowane wyłącznie w celu zaspokojenia konkretnych potrzeb danej organizacji. Dostęp do prywatnych sieci komórkowych mają wyłącznie uprawnieni użytkownicy.

Radiowa sieć dostępową (RAN – Radio Access Network) wykorzystuje sygnały na częstotliwościach radiowych do łączenia urządzeń użytkowników z prywatną siecią komórkową 5G.



Ilustracja 1.1 1: Sieć bazowa 5G 2: Radiowa sieć dostępową (RAN) 3: Urządzenie użytkownika (UE – User Equipment)

Technologia 5G obsługuje szersze pasmo częstotliwości niż jej poprzedniczka. Dostępne częstotliwości zawarte są w trzech pasmach: wysokim, średnim i niskim.



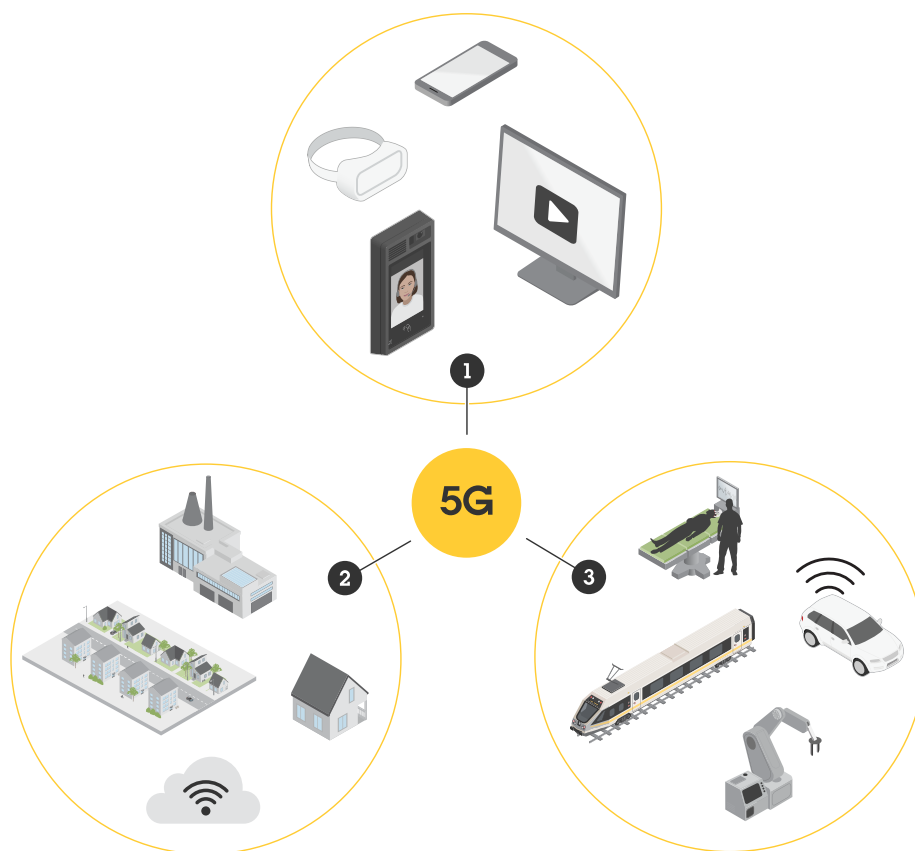
Ilustracja 1.2 1: Pasma wysokie 2 i 3: Pasma średnie 4: Pasma niskie

- Pasma wysokie zapewnia ultraszybkie przepływności przy wyjątkowo niskim opóźnieniu wynoszącym około 1 ms.
- Wysoka przepływność i niskie opóźnienia pasma średniego przeznaczonego dla urządzeń mobilnych umożliwiają strumieniowanie wizyjne w wysokiej rozdzielczości, korzystanie z wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości oraz granie w gry w chmurze przy zachowaniu wysokiej niezawodności i ogromnych możliwości łączności.
- Pasma niskie zapewnia rozległy zasięg i lepszą penetrację w pomieszczeniach.

Te pasma 5G są również określane jako pasma 5G poniżej częstotliwości 6 GHz oraz fale milimetrowe 5G (24 – 40 GHz) i mają wpływ na zasięg, pojemność oraz przepustowość sieci.

5G to technologia sieci komórkowej piątej generacji wdrożona w celu zapewnienia wyższych przepływności danych, mniejszego opóźnienia oraz większej pojemności w porównaniu z poprzednimi generacjami. Zapewnia teoretycznie maksymalną przepustowość pobierania wynoszącą 20 Gb/s oraz maksymalną przepustowość wysyłania wynoszącą 10 Gb/s. Rzeczywiste przepustowości dostępne dla użytkownika są zazwyczaj niższe, często przekraczają 100 Mb/s. Te szczytowe wartości, osiągnęte głównie dzięki wykorzystaniu pasma fal milimetrowych, mają zapewnić przepustowość 100 razy większą niż w sieci 4G LTE. Dzięki takiej przepustowości strumieniowanie, pobieranie i wysyłanie treści o dużej objętości danych przebiega płynniej i szybciej.

## 2 Zalety prywatnej sieci komórkowej 5G



Ilustracja 2.1 1: Szybki mobilny internet szerokopasmowy 2: Komunikacja pomiędzy wielkimi obiektami 3: Niezawodna komunikacja o niskim opóźnieniu

**1 Szybki mobilny internet szerokopasmowy:** Dzięki prywatnej sieci komórkowej 5G można przydzielać, kontrolować i rozdzielać przepustowość sieci w obrębie budynku lub danej lokalizacji w zależności od potrzeb w zakresie łączności. Umożliwia to segmentację sieci, co oznacza, że w ramach jednej infrastruktury fizycznej można tworzyć wiele sieci wirtualnych o różnych parametrach działania. Dzięki temu organizacje mogą dostosować sieć do własnych zastosowań. Na przykład lotnisko korzystające z sieci PCN może udostępnić linii lotniczej jej własną prywatną sieć jako segment swojej sieci PCN, zapewniając większe bezpieczeństwo niż w przypadku tradycyjnej sieci Wi-Fi lub sieci publicznej.

Sieć 5G jest mniej podatna na zakłócenia i zapewnia większe bezpieczeństwo niż sieć Wi-Fi. Ponieważ jest to sieć prywatna, oferuje zwiększone bezpieczeństwo oraz lepszą kontrolę nad ruchem sieciowym. Jest to ważne dla organizacji, które przetwarzają dane wrażliwe. Sieć ta działa również niezależnie od sieci publicznych, nie występują w niej problemy związane z przeciążeniem powodowanym przez użytkowników publicznych ani przerwy w działaniu usług wynikające z awarii systemów, na które organizacja nie ma wpływu.

**2 Komunikacja pomiędzy wielkimi obiektami:** PCN obsługuje komunikację w ramach Internetu rzeczy (IoT) oraz komunikację maszyna-maszyna (M2M), które mają zasadnicze znaczenie dla współczesnych zastosowań przemysłowych i korporacyjnych. Oferuje większy zasięg i może obsługiwać więcej dołączonych urządzeń niż sieć 4G. Rosnąca liczba urządzeń korzystających z technologii IoT i M2M świadczy o coraz większym zapotrzebowaniu na sieć 5G.

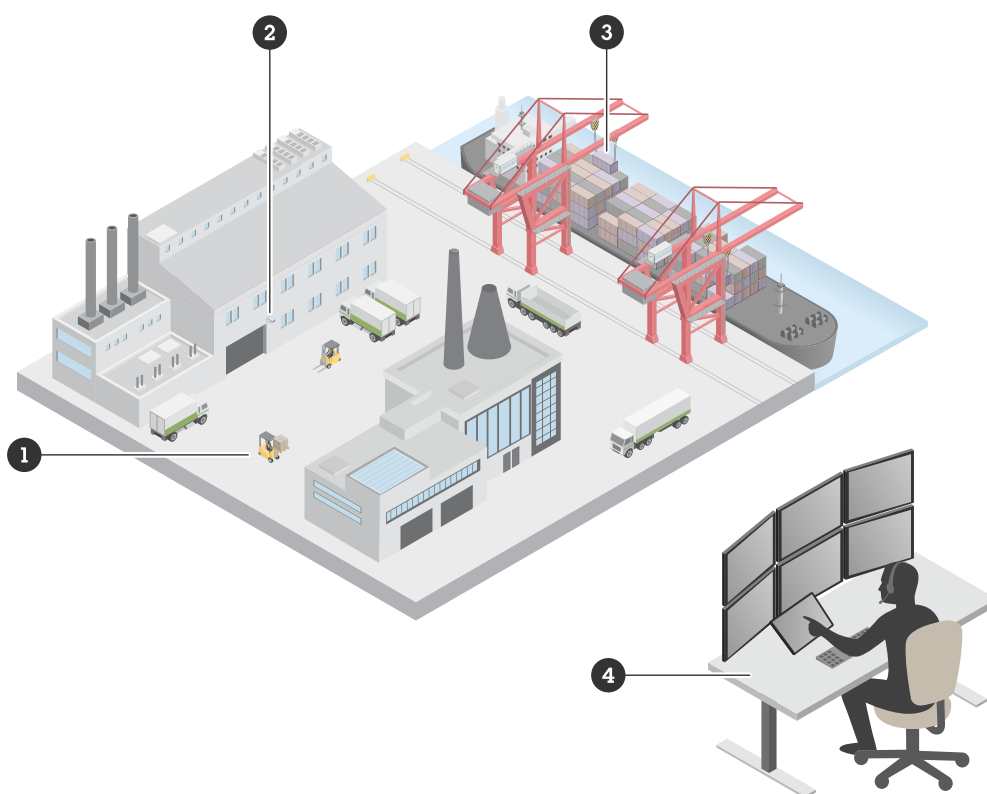
**3 Niezawodna komunikacja o niskim opóźnieniu:** Sieci 5G charakteryzują się niższym opóźnieniem, czyli czasem na przesłanie pakietu danych od nadawcy do odbiorcy. Zastosowania wymagające reakcji w czasie

rzeczywistym, takie jak gry online, pojazdy autonomiczne i telechirurgia, wymagają sieci komórkowej o niższym opóźnieniu.

Prywatna sieć 5G to duża inwestycja, jednak w wielu zastosowaniach oferuje ona potencjał oszczędności. A te mogą dotyczyć zarówno bezpośrednich kosztów instalacji, jak i efektywności pracy. Dla przykładu, na lotnisku sieć PCN pozwala obniżyć koszty w następujący sposób:

- **Ekonomiczna instalacja systemu ochrony obwodowej:** Wykonywanie wykopów wokół dużych ogrodzeń bywa kosztowne. Sieć PCN nie wymaga wykopów, o ile dostępne jest zasilanie.
- **Szybsza i bardziej wszechstronna instalacja:** Kamery można zainstalować bez budowy nowej infrastruktury sieciowej. Prace w gruncie i układanie kabli mogą w niepożądany sposób oddziaływać na różne części lotniska, w tym na budynki. Co więcej, instalacje kablowe rzadko mają pozytywny wpływ na estetykę otoczenia. Wykopy, wiercenia i układanie kabli, a także inne niezbędne prace budowlane są czasochłonne i powodują hałas oraz utrudnienia w ruchu drogowym, co może zakłócać pracę w organizacjach.
- **Sieć PCN uzupełnia istniejącą infrastrukturę:** Zamiast zastępować zastaną infrastrukturę kablową nową infrastrukturą na potrzeby zwiększenia przepustowości, może ją uzupełnić i odciążać poprzez sieć PCN. Sieć PCN umożliwia też dodawanie nowych urządzeń.
- **Łączność tymczasowa:** Sieć PCN ma tę zaletę, że zapewnia mobilność – zarządzanie poruszającym się pojazdem włączonym do sieci przewodowej stanowi niejaką trudność. Rozwiązanie takie sprawdza się w wielu sytuacjach, w których potrzebna jest tymczasowa łączność, na przykład na lotnisku, na targach, na placu budowy lub podczas imprezy plenerowej bądź zamkniętej.

### 3 Przykłady zastosowań prywatnych sieci komórkowych 5G



Ilustracja 3.1 1: Monitorowanie obciążenia pracą w czasie rzeczywistym 2: Dozór wizyjny 3: Telemetria w maszynach 4: System dozorowy i zdalne sterowanie

Prywatna sieć komórkowa 5G najlepiej sprawdza się w organizacjach działających na rozległych, złożonych i dynamicznie zmiennych obszarach wymagających bezpiecznego i niezawodnego połączenia mobilnego.

**1 Monitorowanie obciążenia pracą w czasie rzeczywistym:** Sieć 5G PCN umożliwia monitorowanie w czasie rzeczywistym. Przykładowo, zakłady produkcyjne czy fabryki mogą wymagać monitorowania i śledzenia swoich zasobów w czasie rzeczywistym, aby na bieżąco znać dokładnie ich rozmieszczenie i stan. Potrzebują do tego połączenia o bardzo niskim opóźnieniu i wysokiej niezawodności, jakie zapewnia technologia 5G. Szpitale mogą wykorzystywać prywatną sieć 5G do zapewnienia niezawodnej łączności urządzeń medycznych o znaczeniu krytycznym dla podtrzymania i ratowania życia, konsultacji telemedycznych o niskim opóźnieniu, telechirurgii oraz śledzenia sprzętu mobilnego takiego jak pompy infuzyjne czy wózki inwalidzkie na rozległym terenie szpitala, gwarantując jednocześnie bezpieczeństwo danych i wysokie parametry sieci.

**2 Dozór wizyjny:** W dynamicznym otoczeniu jak port, w którym działają dźwigi, jeżdżą ciężarówki i krzątają się pracownicy, niezbędny jest płynny dozór wizyjny zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz obiektów. Sieć 5G PCN zapewnia rozległy zasięg i płynne przekazywanie połączeń, co jest niezbędne do śledzenia zasobów, zarządzania pojazdami autonomicznymi oraz zapewnienia sprawnego przebiegu pracy.

**3 Telemetria w maszynach:** Aby przewidzieć zapotrzebowanie na czynności utrzymaniowe dokonywane w maszynie, przeprowadzać analizy operacyjne i sterować nią zdalnie, potrzebny jest stały przepływ danych z maszyny. Dane mogą zawierać położenie rozrząsacza, masę ładunku oraz temperaturę silnika. Na przykład potężna suwnica nabrzeżna może stać się w pełni sterowanym zasobem cyfrowym. Prywatne łącze 5G zastępuje delikatne i wymagające troskliwego utrzymania bębny z kablami światłowodowymi, a także umożliwia bezprzewodową transmisję kluczowych informacji drogą elektroniczną. Jednocześnie to samo połączenie umożliwia przesyłanie strumieni wizyjnych z kamer zamontowanych na samej suwnicy, zapewniając operatorom czytelny widok na kontener i jego otoczenie.

**4 System dozorowy i zdalne sterowanie:** Infrastruktura o znaczeniu krytycznym (energetyka, usługi komunalne, górnictwo) oraz duże obiekty (lotniska, stadiony) często muszą prowadzić dozór własny i zdalnie obsługiwać maszyny. Na przykład, operator sieci energetycznej musi monitorować czujniki w swojej sieci. Prywatna sieć 5G może obsługiwać zarówno dozór rozmieszczenia, jak i sterowanie maszynami, gwarantując jednocześnie wysoką skuteczność w przypadku ruchu o znaczeniu krytycznym.

## 4 Różnice pomiędzy prywatnymi a publicznymi sieciami komórkowymi

O ile prywatna sieć komórkowa przeznaczona jest dla konkretnej organizacji, publiczna sieć komórkowa jest współużytkowana i dostępna dla ogółu. Choć obie zapewniają połączenia sieciowe, pod pewnymi względami się różnią. Obejmują one:

Cecha	Sieć prywatna	Sieć publiczna
Własność	Dedykowana sieć prywatna jest oddzielona od wszelkich publicznych sieci komórkowych. Obsługiwana jest wyłącznie na potrzeby danej organizacji.  Zapewnia organizacji pełną kontrolę nad siecią, urządzeniami i zasadami bezpieczeństwa.	Jej właścicielami i operatorami są operatorzy sieci komórkowych (MNO - Mobile Network Operator), a użytkownicy końcowi mają nad nią ograniczoną kontrolę.
Możliwości konfiguracji	PCN zapewnia organizacji pełną kontrolę nad siecią, urządzeniami i zasadami bezpieczeństwa.	W ramach abonamentu użytkownik ma ograniczone możliwości konfiguracji sieci.

	Organizacja może konfigurować zasoby radiowe łączy w górę i w dół sieci, a także ustalić poziomy jakości usług (QoS), konfigurować segmenty sieciowe i rozbudowywać sieć na własne potrzeby.	Wszystkie konfiguracje muszą zostać zatwierdzone przez administrację operatora sieci komórkowej (MNO). Możliwe jest jednak utworzenie wirtualnej podsieci (segmentu sieci) w ramach sieci operatora komórkowego, funkcjonującej jak sieć prywatna, co pozwala na korzystanie z sieci bazowej oraz węzłów sieci operatora zamiast korzystania z własnego sprzętu sieciowego.
Model kosztów	Zakup i wdrożenie sprzętu oraz utrzymanie sieci wymagają znacznych nakładów finansowych. Jest to jednak inwestycja jednorazowa, dzięki której można korzystać z nieograniczonej transmisji danych.	Operatorzy sieci komórkowych posiadają zezwolenia wydane przez instytucje państwowe i muszą przestrzegać określonych przepisów. Użytkownik obowiązany jest ponosić opłatę abonamentową na rzecz operatora sieci komórkowej.
Bezpieczeństwo	Poziom bezpieczeństwa jest bardzo wysoki, ponieważ możliwe jest bezpośrednie nim zarządzanie, przechowywanie danych lokalnie oraz bezpieczne korzystanie z publicznej sieci internetowej lub sieci operatorów komórkowych. Prywatne karty SIM zapewniają również dodatkowy poziom bezpieczeństwa dzięki kodowi PIN karty SIM, o ile został ustawiony.	Konieczne jest powierzenie danych podmiotom zewnętrznym mającym własne zasady dotyczące bezpieczeństwa danych. Dane są ponadto przesyłane za pośrednictwem współdzielonej infrastruktury operatorów sieci komórkowych.
Dostępność i zasięg	Charakteryzuje się niskim opóźnieniem i szerokim zasięgiem, ponieważ dostęp do sieci mają wyłącznie uprawnione urządzenia, a sieć jest budowana tam, gdzie wskaże organizacja. Można kontrolować każde urządzenie pod kątem ilości wykorzystanych danych i jakości świadczonych usług.	Zasięg jest ograniczony i istnieje niebezpieczeństwo przeciążenia sieci. Wynika to z faktu, że urządzenie użytkownika, podobnie jak wiele innych urządzeń, konkuruje o wspólne zasoby, a użytkownik nie kontroluje, kto korzysta z danych i ile ich używa.

Podsumowując, sieć publiczna opiera się na prostym modelu abonamentowym i sprawdza tam, gdzie akceptowalny jest wystarczający poziom świadczonych usług. Sieć prywatna jest niezbędna, gdy poziom świadczonych usług, bezpieczeństwo i niezawodność mają kluczowe znaczenie dla działania organizacji i nie można pozwolić sobie na żadne ustępstwa w tym zakresie.

## 5 Kwestie związane z bezpieczeństwem i prywatnością w prywatnych sieciach komórkowych 5G

Prywatna sieć komórkowa zapewnia organizacjom bezpieczne i prywatne połączenia sieciowe. Dzięki niej organizacje są jedynymi właścicielami swoich danych i jako jedyne mają nad nimi kontrolę.

Oprócz zabezpieczenia dostępu do sieci za pomocą kart SIM całościowe szyfrowanie pomaga chronić zarówno dane operacyjne, jak i osobowe. Do sieci powinni mieć dostęp wyłącznie uprawnieni użytkownicy, urządzenia, aplikacje i systemy.

Dostęp fizyczny do lokalnego serwera głównego lub modułu radiowego powinien być ograniczony i kontrolowany. Ma to na celu ograniczenie dostępu do fizycznych elementów bezpieczeństwa sieciowego wyłącznie do osób uprawnionych.

Poniżej przedstawiono niektóre zagrożenia bezpieczeństwa w prywatnej sieci komórkowej (PCN) 5G:

- **Błędna konfiguracja:** Nieprawidłowo skonfigurowany segment sieci może pomijać współdzielone mechanizmy kontroli. Może to spowodować powstanie luki w zabezpieczeniach, trudnej do wykrycia, ale łatwej do wykorzystania.
- **Ataki typu side-channel:** Istnieje możliwość pozyskania informacji na podstawie sygnałów pośrednich, takich jak wskazania czasu, pobór mocy lub wykorzystanie pamięci.
- **Atak typu Denial-of-service (DoS):** Atakujący mogą zakłócać kanały dostępu radiowego, przeciążać interfejsy API lub zalewać ruchem sieciowym segment sieci.
- **Podsłuchiwanie i analiza ruchu sieciowego:** Dane w sieci 5G są szyfrowane, ale nie zawsze szyfrowane są metadane. Atakujący analizujący układy ruchu sieciowego mogą wywnioskować, jak zachowują się użytkownicy, gdzie przebywają lub z jakiego rodzaju aplikacji korzystają.
- **Atak typu Meddler-in-the-middle (MITM):** Urządzenie może symulować stację bazową 5G i naruszać poufność oraz integralność.

## 6 5G a dozór wizyjny

Chociaż sieć 5G wykorzystuje architekturę opartą na protokole IP, różni się ona znacznie w warstwie 2. (warstwie łącza danych). W związku z tym sieć 5G działa inaczej niż sieć przewodowa lub Wi-Fi.

Domyślnie kamera IP działa w trybie pasywnym i oczekuje na nawiązanie połączenia ze strony klienta. W systemie zarządzania obrazem (VMS - Video Management System) kamery są często wykrywane za pomocą protokołów takich jak mDNS (Multicast DNS) lub UPnP (Universal Plug and Play). Protokoły te w znacznym stopniu opierają się na warstwie łącza danych i nie są obsługiwane przez sieć 5G. Aby kamera działająca w sieci 5G PCN została włączona do istniejącego systemu zarządzania obrazem VMS, takiego jak Genetec, Milestone lub AXIS Camera Station, powinna mieć znany, statyczny adres IP. Możliwe jest również przeszukiwanie puli adresów IP z poziomu systemu VMS, jednak kamera nadal musi mieć statyczny adres IP w ramach znanej puli adresów IP.

Korzystając na przykład z rozwiązania WebRTC lub VPN, nie trzeba mieć znanego statycznego adresu IP, ponieważ klient i serwer łączą się za pośrednictwem wspólnego, znanego serwera. Nie jest to jednak funkcja natywnie obsługiwana przez kamery Axis ani starsze systemy zarządzania obrazem (VMS).

Sieć 5G PCN działająca w paśmie średnim (poniżej 6 GHz) obsługuje maksymalną przepustowość wynoszącą 100 MHz, co ogranicza dostępną przepływność. Ponadto jakość sygnału może się zmieniać w przypadku urządzenia znajdującego się w ruchu. Urządzenie stacjonarne może być również narażone na zmiany w środowisku radiowym, które wpływają na jakość sygnału, a tym samym na dostępną przepływność kanału. W porównaniu z siecią przewodową sieć 5G PCN charakteryzuje się bardziej ograniczoną i nieprzewidywalną przepływnością, przez co jest podatniejsza na przeciążenie.

Typowy profil strumienia wizyjnego często wykazuje znaczne przeskoki. Ramka typu I wytwarza duży blok danych, który musi zostać przesłany w krótkim czasie. W przypadku niewystarczającej przepustowości łącza może to powodować przerywanie buforowania, opóźnienia, utratę ramek oraz niską jakość obrazu.

W porównaniu z siecią przewodową sieć 5G PCN, działająca w paśmie poniżej 6 GHz, charakteryzuje się dodatkowym opóźnieniem wynoszącym około 10 ms. Nie ma ono znaczenia w przypadku zastosowań związanych z dozorem wizyjnym takich jak podgląd na żywo i sterowanie obrotem, pochyleniem i zoomem (PTZ), ale jest kluczowe w innych zastosowaniach, takich jak pojazdy autonomiczne. Przeciążenie sieci może spowodować znaczny wzrost opóźnienia.

## O firmie Axis Communications

Axis wspiera rozwój inteligentnego oraz bezpiecznego świata przez poprawę bezpieczeństwa, ochrony, efektywności działania i wiedzy biznesowej. Jako firma zajmująca się technologiami sieciowymi oraz lider branży, Axis oferuje rozwiązania z zakresu dozoru wizyjnego, kontroli dostępu, systemów domofonowych i systemów audio. Ich rozszerzeniem i uzupełnieniem są inteligentne aplikacje analityczne oraz wysokiej jakości szkolenia.

Axis zatrudnia około 5000 pracowników w ponad 50 krajach oraz współpracuje z partnerami z obszaru technologii i integracji systemów na całym świecie w celu dostarczania swoich rozwiązań klientom. Firma została założona w 1984 roku i ma swoją siedzibę w Lund w Szwecji.