WYKŁAD 7

Programowanie aplikacji mobilnych współpracujących z IoT

Przedmiot: Programowanie Aplikacji Mobilnych

Kierunek: Informatyka

Internet of Things — Technologie i architektura

- Protokoły komunikacji
- Android & iOS + IoT
- Cloud Platforms
- Bezpieczeństwo
- Case Studies

Plan wykładu

Slajdy 1–4
Wprowadzenie do IoT i rola aplikacji mobilnych

Slajdy 5–8
Protokoły komunikacji (MQTT, CoAP, REST, WebSocket)

Slajdy 9–12
Łączność bezprzewodowa (BLE, Wi-Fi, Zigbee)

Slajdy 13–17
Programowanie Android & iOS dla IoT

Slajdy 18–21
Platformy chmurowe i przetwarzanie danych

Slajdy 22–25
Bezpieczeństwo i zarządzanie urządzeniami

Slajdy 26–28
Testowanie i optymalizacja

Slajdy 29–30
Case Studies i podsumowanie

Definicja i ekosystem Internetu Rzeczy (IoT)

"Sieć urządzeń fizycznych wyposażonych w czujniki, oprogramowanie i łączność umożliwiającą wymianę danych bez udziału człowieka"

75 mld
Urządzeń IoT do 2030 r.

4.6 TB/dzień
Danych generowanych

11 tys. USD
Wydatki na IoT na firmę/rok

18.5%
CAGR rynku IoT 2024–2030

Warstwy ekosystemu IoT

Urządzenia
Czujniki, aktuatory, mikrokontrolery

→

Łączność
Protokoły, sieci bezprzewodowe

→

Platforma
Cloud, analityka, storage

→

Aplikacje
Mobilne, webowe, dashboardy

Rola Aplikacji Mobilnych w Systemach IoT

Interfejs użytkownika

Wizualizacja danych z czujników, sterowanie urządzeniami w czasie rzeczywistym, powiadomienia push.

Brama komunikacyjna

Telefon jako lokalny hub IoT — agregacja danych z urządzeń BLE/Zigbee przed wysłaniem do chmury.

Przetwarzanie lokalne

Edge computing na urządzeniu mobilnym — preprocessing danych przed transmisją, redukcja latencji.

Zarządzanie urządzeniami

Provisioning, konfiguracja OTA, monitoring stanu urządzeń, zarządzanie aktualizacjami firmware.

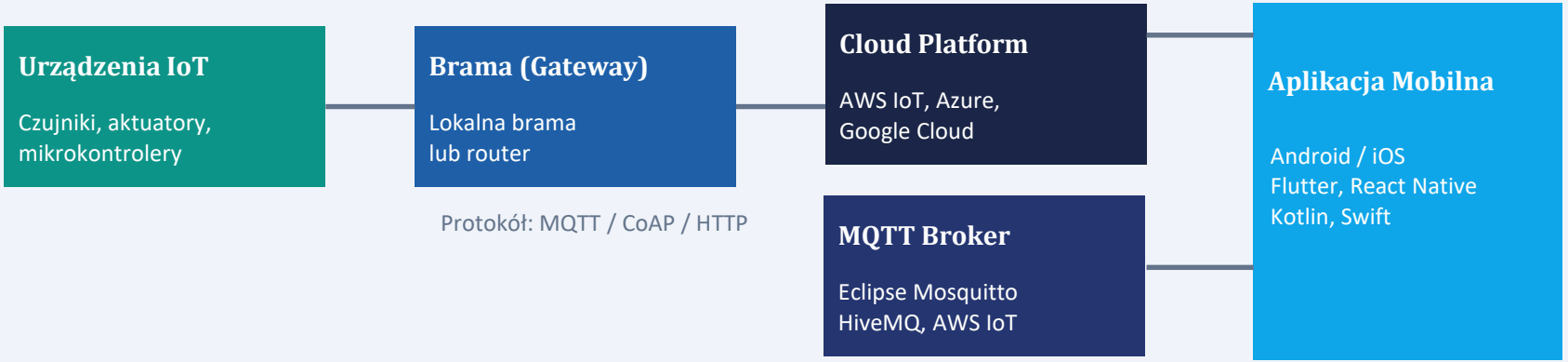
Analityka i raporty

Dashboardy, trendy historyczne, alerty progowe, eksport danych do systemów BI.

Bezpieczeństwo

Autentykacja użytkownika, autoryzacja dostępu do urządzeń, szyfrowanie komunikacji end-to-end.

Architektura Systemu IoT z aplikacją mobilną



Przepływ danych:

1. Czujnik zbiera dane
2. Dane przesyłane przez MQTT/CoAP
3. Broker przekazuje wiadomości
4. Cloud przetwarza i przechowuje
5. Aplikacja mobilna prezentuje dane

Protokoły komunikacji w IoT

Wybór protokołu determinuje wydajność, niezawodność i skalowalność całego systemu IoT

Protokół	Transport	Model	QoS	Zastosowanie IoT
MQTT	TCP	Pub/Sub	0, 1, 2	Telemetria, smart home, przemysł
CoAP	UDP	Request/Response	0, 1	Urządzenia z ograniczonymi zasobami
HTTP/REST	TCP	Request/Response	brak	API, integracje, webowe dashboardy
WebSocket	TCP	Full-duplex	brak	Real-time UI, streaming danych
AMQP	TCP	Pub/Sub + Queuing	0, 1, 2	Systemy korporacyjne, kolejki
DDS	UDP/TCP	Pub/Sub P2P	0–5	Robotyka, systemy krytyczne

★ **Rekomendowany dla nowych projektów IoT: MQTT (lekki, asynchroniczny, obsługa słabego łącza)**

MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

Broker

Centralny serwer pośredniczący (Mosquitto, HiveMQ, AWS IoT Core). Zarządza topicami i subskrypcjami.

Publisher

Urządzenie IoT publikujące dane na dany temat (topic). Np. sensor/temperatura/salon.

Subscriber

Klient (app mobilna) subskrybujący topic. Odbiera wiadomości w trybie push.

QoS Levels

0 – at most once (fire & forget)
1 – at least once (potwierdzenie)
2 – exactly once (pełna gwarancja)

Przykład: Android (Kotlin + MQTT)

```
val client = MqttAndroidClient(
    context, "tcp://broker.hivemq.com:1883",
    MqttClient.generateClientId()
)
val opts = MqttConnectOptions()
opts.isCleanSession = true
client.connect(opts, null, object :
IMqttActionListener {
    override fun onSuccess(token: IMqttToken?) {
        client.subscribe("sensor/#", 1)
    }
})
client.setCallback(object : MqttCallback {
    override fun messageArrived(
        topic: String, msg: MqttMessage) {
        val payload = msg.toString()
        // aktualizuj UI
    }
})
```

Hierarchia tematów (Topic Tree)

```
home/ ─ korytarz/ ─ temp
          └─ ruch
      └─ salon/ ─ temp
            └─ wilgotnosc
      └─ kuchnia/ ─ temp
```

CoAP: Constrained Application Protocol

RFC 7252 — zaprojektowany specjalnie dla urządzeń embedded z ograniczonymi zasobami (RAM, CPU, energia)

MQTT vs CoAP

Cecha	MQTT	CoAP
Transport	TCP (niezawodny)	UDP (lekki, zawodny)
Model	Pub/Sub	Request/Response (REST-like)
Rozmiar nagłówka	2 bajty	4 bajty
Multicast	Nie	Tak (UDP multicast)
Observe	Subskrypcja na topic	CoAP Observe option (RFC 7641)
Energia	Wyższe zużycie	Niższe (UDP, uśpienie)

Kiedy używać CoAP?

Urządzenia z baterią → mała pamięć RAM (< 10 KB) → sieci z dużą utratą pakietów → wymagana multicast discovery

Urządzenia z baterią · RAM < 10 KB · Sieci z dużą utratą pakietów · Wymagana multicast discovery

REST API dla IoT: HTTP i RESTful Services

Projektowanie REST API dla systemów IoT wymaga szczególnej uwagi na skalowalność i efektywność danych

Typowe endpointy REST API dla IoT

```
GET  /api/v1/devices
GET  /api/v1/devices/{id}
POST /api/v1/devices/{id}/command
GET  /api/v1/sensors/data
     ?from=2024-01-01&to=2024-12-31
     &deviceId=dev001
     &metric=temperature
GET  /api/v1/devices/{id}/telemetry
     ?limit=100&offset=0
POST /api/v1/alerts/rules
PUT  /api/v1/devices/{id}/config
DEL  /api/v1/devices/{id}
```

Dobre praktyki REST dla IoT

Paginacja
limit/offset lub cursor-based. Niezbędne przy dużych zbiorach danych telemetrycznych

Kompresja
GZIP/Brotli — zmniejszenie danych do 80%, kluczowe dla urządzeń mobilnych

Wersjonowanie
URI versioning (/v1/, /v2/) — kompatybilność wsteczna podczas aktualizacji

Rate Limiting
Throttling żądań (np. 1000 req/min) — ochrona serwera przed przeciążeniem

HATEOAS
Linki nawigacji w odpowiedzi — samoopisowe API zmniejszające coupling

REST vs MQTT: HTTP jest lepszy dla operacji CRUD i integracji z systemami zewnętrznymi, natomiast MQTT przewyższa HTTP przy ciągłej telemetrii i urządzeniach z ograniczonymi zasobami.

WebSocket: komunikacja dwukierunkowa w czasie rzeczywistym

WebSocket (RFC 6455) umożliwia pełnodupleksową komunikację przez pojedyncze połączenie TCP, idealne dla real-time dashboardów IoT.

Nawiązanie połączenia WebSocket

1. HTTP Upgrade Request
GET /ws HTTP/1.1
Upgrade: websocket
Connection: Upgrade
Sec-WebSocket-Key: dGhlIHNhbXBsZQ==

2. Server 101 Switching
HTTP/1.1 101 Switching Protocols
Upgrade: websocket
Sec-WebSocket-Accept: s3pPL...

3. Full-duplex channel
Obie strony mogą wysyłać ramki WebSocket w dowolnej chwili bez nowych żądań HTTP

Implementacja w Kotlin (OkHttp)

```
val client = OkHttpClient.Builder()
    .readTimeout(0, TimeUnit.MILLISECONDS)
    .build()

val request = Request.Builder()
    .url("wss://iot-hub.example.com/ws")
    .build()

val ws = client.newWebSocket(request,
  object : WebSocketListener() {
    override fun onMessage(
        ws: WebSocket, text: String) {
        val data = Json.decodeFromString
            <SensorData>(text)
        _uiState.value = UiState.Data(data)
    }
    override fun onFailure(
        ws: WebSocket, t: Throwable,
        response: Response?) {
        // reconnect logic
    }
})
// Wysyłanie komendy
ws.send("""{"cmd":"setTemp","val":22}""")
```

Bluetooth Low Energy (BLE): łączność krótkiego zasięgu

BLE (Bluetooth 4.0+) jest dominującym protokołem dla IoT krótkiego zasięgu: wearables, czujniki medyczne, smart home.

Model GATT (Generic Attribute Profile)

Profile
Zestaw usług dla danego zastosowania (HR Profile, Battery Service, Custom IoT Profile)

Service
Zestaw powiązanych charakterystyk — identyfikowany przez UUID (np. 0x180D = Heart Rate Service)

Characteristic
Pojedyncza wartość danych — odczyt (Read), zapis (Write), powiadomienia (Notify, Indicate)

Descriptor
Metadane charakterystyki — CCCD (włączenie notyfikacji), User Description, Format

Skanowanie i połączenie (Android)

```
// Skanowanie BLE
val scanner =
bluetoothAdapter.bluetoothLeScanner
val settings = ScanSettings.Builder()

.setScanMode(SCAN_MODE_LOW_LATENCY).build()
scanner.startScan(null, settings, callback)

// Połączenie z urządzeniem
device.connectGatt(context, false, object
    : BluetoothGattCallback() {
  override fun onServicesDiscovered(
      gatt: BluetoothGatt, status: Int) {
    val svc = gatt.getService(SENSOR_UUID)
    val char =
svc.getCharacteristic(TEMP_UUID)

gatt.setCharacteristicNotification(char,true)
  }
  override fun onCharacteristicChanged(
      gatt: BluetoothGatt,
      char: BluetoothGattCharacteristic) {
    val temp =
char.getIntValue(FORMAT_SINT16,0)
    updateTemperatureUI(temp / 100.0f)
  }
})
```

BLE vs Classic Bluetooth: BLE zużywa ~10× mniej energii, zasięg do 100 m (BLE 5.0), przepustowość do 2 Mbps.

Technologie łączności bezprzewodowej w IoT

Wi-Fi 802.11

Zasięg: 50–100 m

Pasmo: do 9.6 Gbps (Wi-Fi 6)

Energia: Wysokie

Kamery IP, bramy sieciowe, routery IoT, urządzenia strumieniujące wideo

Zigbee (802.15.4)

Zasięg: 10–100 m (mesh)

Pasmo: 250 kbps

Energia: Bardzo niskie

Smart home (żarówki, zamki, czujniki), siatki mesh, Philips Hue, Amazon Echo Plus

Z-Wave

Zasięg: 30 m (max 4 hopy)

Pasmo: 100 kbps

Energia: Niskie

Smart home — mniejsze zakłócenia od Wi-Fi, dedykowany ekosystem (do 232 urządzeń)

Thread (OpenThread)

Zasięg: Mesh — wiele hopów

Pasmo: 250 kbps

Energia: Bardzo niskie

Matter (Apple/Google/Amazon) — nowy standard smart home, urządzenia IPv6-native

LoRaWAN

Zasięg: do 15 km

Pasmo: 0.3–50 kbps

Energia: Ekstremalnie niskie

Monitoring infrastruktury, rolnictwo precision, smart city, urządzenia bateryjne na lata

NB-IoT / LTE-M

Zasięg: Sieć komórkowa

Pasmo: 200 kbps / 1 Mbps

Energia: Niskie–średnie

Liczniki mediów, tracking pojazdów, monitoring obszarów bez Wi-Fi

Android Development dla IoT: architektura MVVM

Rekomendowana architektura aplikacji Android IoT oparta na Jetpack i Clean Architecture

UI Layer (View)

- Compose / XML Layouts
- ViewModel (StateFlow)
- Navigation Component
- DataBinding

Domain Layer

- UseCases / Interactors
- Domain Models
- Repository Interfaces
- Business Logic

Data Layer

- Repository Impl.
- Remote (Retrofit/MQTT)
- Local (Room Database)
- WorkManager (background)

IoT Integration

- BLE Manager
- MQTT Client Service
- Sensor Data Parser
- OTA Update Manager

Kluczowe biblioteki Jetpack dla IoT

Hilt	Coroutines	Room	WorkManager	DataStore	CameraX
DI	Async	Lokalna DB	Background	Preferences	AR/Vision

iOS Development dla IoT, Swift i Apple Frameworks

Frameworki Apple dla IoT

HomeKit
Oficjalne API Apple dla smart home — bezpieczna komunikacja z urządzeniami certyfikowanymi przez Apple (MFi)

CoreBluetooth
BLE scanning, pairing, GATT services discovery — pełna kontrola połączeń BLE na poziomie systemu

Network.framework
TLS, TCP/UDP sockets, WebSocket — zastępuje BSD sockets nowoczesnym Swift API

Combine / async-await
Reaktywne strumienie danych z urządzeń IoT, asynchroniczne operacje sieciowe (URLSession async)

Core Data + CloudKit
Lokalne przechowywanie danych telemetrycznych + synchronizacja z iCloud

Przykład CoreBluetooth (Swift)

```
class IoTManager: NSObject, CBCentralManagerDelegate,
    CBPeripheralDelegate {
  var centralManager: CBCentralManager!
  var peripheral: CBPeripheral?
  let sensorServiceUUID = CBUUID(string: "180D")
  let tempCharUUID = CBUUID(string: "2A1C")

  func centralManagerDidUpdateState(
      _ central: CBCentralManager) {
    if central.state == .poweredOn {
      central.scanForPeripherals(
        withServices: [sensorServiceUUID])
    }
  }
  func peripheral(_ peripheral: CBPeripheral,
    didUpdateValueFor char: CBCharacteristic,
    error: Error?) {
    if let data = char.value {
      let temp = data.withUnsafeBytes {
        $0.load(as: Int16.self)
      }
      DispatchQueue.main.async {
        self.temperature = Double(temp) / 100.0
      }
    }
  }
}
```

Programowanie Cross-Platform dla IoT: Flutter i React Native

Jedna baza kodu dla Android i iOS — kluczowe zalety przy ograniczonych zasobach zespołowych

Flutter (Dart)

- Silnik Skia/Impeller — własne renderowanie
- Hot reload — szybkie iteracje
- flutter_blue_plus (BLE)
- mqtt_client package
- Doskonała wydajność UI
- Rosnące wsparcie IoT ecosystem

React Native (JS/TS)

- Bridge → JSI → Native Modules
- Ogromny ekosystem npm
- react-native-ble-plx
- Łatwiejsze dla web developerów
- Hermes engine (szybki JS)
- Expo — szybki start projektu

Kotlin Multiplatform

- Współdzielona logika biznesowa
- Native UI (Compose/SwiftUI)
- Ktor klient HTTP/WebSocket
- 100% dostęp do natywnych API
- Najlepszy wybór dla krytycznych zastosowań
- Wsparcie JetBrains + Google

Wskazówka: Dla projektu z intensywnym BLE i wymaganą wysoką wydajnością → Flutter lub KMP. Dla szybkich prototypów i dużych zespołów webowych → React Native.

Przetwarzanie Danych z Czujników w aplikacji mobilnej

Pipeline przetwarzania danych IoT:

1. Odbiór

BLE Callback / MQTT onMessage / WebSocket onMessage

›

2. Parsowanie

Deserializacja JSON/Protocol Buffers/CBOR → obiekt domenowy

›

3. Walidacja

Zakres wartości, timestamp, integralność danych, outlier detection

4. Filtrowanie

Kalmański, moving average, Savitzky-Golay — redukcja szumu

›

5. Agregacja

Min/Max/Avg w oknie czasowym, downsampling przed wizualizacją

›

6. Wizualizacja

Wykres real-time (MPAndroidChart, Charts dla iOS), dashboard

Kluczowe formaty serializacji: JSON (czytelny, duże rozmiary) · Protocol Buffers (kompaktowy, schematowany) · CBOR (binarny JSON, standardowy dla CoAP) · MessagePack (wydajny)

Edge Computing w aplikacjach mobilnych IoT

Przetwarzanie danych bliżej źródła. Na urządzeniu mobilnym lub lokalnej bramie, zamiast w chmurze

Zalety edge computing dla IoT

Niskie opóźnienie

Przetwarzanie lokalne → latencja < 10 ms vs. 50-200 ms dla chmury — krytyczne dla sterowania w czasie rzeczywistym

Praca offline

Aplikacja działa bez połączenia z internetem — lokalna baza danych buforuje dane, synchronizacja przy przywróceniu łącza

Prywatność danych

Wrażliwe dane (np. medyczne) nie opuszczają lokalnej sieci — zgodność z RODO

Oszczędność pasma

Przesyłanie tylko zagregowanych wyników lub anomalii zamiast surowych danych — redukcja kosztów transmisji

ML na urządzeniu (TensorFlow Lite)

```
// Anomaly detection na urządzeniu
val model = TFLiteModel.newInstance(
    context, "anomaly_detector.tflite")

fun detectAnomaly(sensorData: FloatArray)
    : Boolean {
  val input = TensorBuffer.createFixedSize(
      intArrayOf(1, sensorData.size),
      DataType.FLOAT32)
  input.loadArray(sensorData)

  val outputs = model.process(input)
  val score =
outputs.outputFeature0AsFloatArray

  return score[0] > ANOMALY_THRESHOLD
}
// Zwalniaj zasoby
model.close()
```

Detekcja anomalii

Modele klasyfikacji

Przetwarzanie obrazu

Object detection (YOLO)

NLP na urządzeniu

Rozpoznawanie komend

Platformy Chmurowe dla IoT: AWS, Azure, Google Cloud

AWS IoT Core

- IoT Core — MQTT/HTTP broker
- Greengrass — edge computing
- IoT Analytics — przetwarzanie
- IoT Device Defender — security
- AWS Lambda — serverless

```
SDK: aws-iot-device-sdk-android
```

Azure IoT Hub

- IoT Hub — centralny broker
- IoT Edge — local processing
- Digital Twins — wirtualne modele
- Azure Stream Analytics
- Time Series Insights

```
SDK: azure-iot-sdk-java (Android)
```

Google Cloud IoT

- Cloud IoT Core (→ deprecated)
- Pub/Sub — messaging
- BigQuery — analityka
- Vertex AI — ML pipeline
- Firebase Realtime Database

```
SDK: google-cloud-iot-core + Firebase
```

Kluczowe kryteria wyboru platformy IoT

- Liczba urządzeń i skalowalność
- Koszt (per-message vs. flat fee)
- Geolokalizacja danych (RODO)
- Obsługiwane protokoły
- SLA i dostępność

Integracja aplikacji z chmurą: wzorce i architektura

Direct MQTT Connection

Aplikacja mobilna łączy się bezpośrednio z brokerem MQTT (AWS IoT Core, HiveMQ Cloud). Prosta implementacja, ale wymaga zarządzania połączeniem w tle i obsługi reconnect.

✓ Niskie opóźnienia, real-time

✗ Bateria, zarządzanie połączeniem

REST + WebSocket Hybrid

REST API dla operacji CRUD i historycznych danych. WebSocket lub SSE (Server-Sent Events) dla live updates. Łatwe cachowanie przez CDN.

✓ Cacheable, skalowalny

✗ Wyższe opóźnienia niż MQTT

Firebase Realtime / Firestore

Firebase jako pośrednik — Cloud Functions reagują na dane IoT w MQTT i zapisują do Firestore. Aplikacja używa Firebase SDK z lokalnym cache offline.

✓ Offline first, prosty SDK

✗ Vendor lock-in Google

Wybór wzorca zależy od wymagań:
latencja krytyczna → MQTT Direct | łatwy start → Firebase | skalowalność enterprise → REST+WS

Zagrożenia i ochrona aplikacji mobilnych IoT

"Security by Design" — bezpieczeństwo wbudowane od początku projektu, nie dodane na końcu

⚠ Zagrożenia

Man-in-the-Middle
Przechwycenie niezaszyfrowanej komunikacji MQTT/HTTP między app, a brokerem

Device Spoofing
Fałszywe urządzenie podszywające się pod legalny sensor w sieci IoT

Replay Attack
Ponowne wysłanie przechwyconych pakietów sterowania urządzeniem

Insecure Storage
Tokeny i certyfikaty w logach, SharedPreferences bez szyfrowania

OTA Poisoning
Podmiana firmware podczas aktualizacji Over-the-Air

✓ Środki ochrony

TLS 1.3 + MQTT over TLS
Szyfrowanie E2E, weryfikacja certyfikatu serwera (certificate pinning)

Mutual TLS (mTLS)
Certyfikaty X.509 dla każdego urządzenia, obustronnieuwe uwierzytelnienie

Timestamp + Nonce
Każda wiadomość zawiera timestamp i jednorazowy nonce, blokuje replay

Android Keystore / iOS Secure Enclave
Przechowywanie kluczy w hardware — niedostępne dla innych aplikacji

Podpis cyfrowy firmware
Weryfikacja podpisu ECDSA przed instalacją aktualizacji

Autentykacja i autoryzacja w systemach IoT

Metody uwierzytelniania:

Username/Password + TLS
Podstawowa metoda — niewystarczająca dla produkcji. Hasła muszą być silne i przechowywane jako hash (bcrypt).

API Key / Token
Statyczny klucz przypisany do urządzenia. Prosty, ale bez expiry i trudny do rotacji w dużych flotach.

JWT (JSON Web Tokens)
Tokeny z expiry, podpisane kluczem (RS256/ES256). Aplikacja mobilna przechowuje refresh token, wymienia na access token.

OAuth 2.0 / OIDC
Delegacja uprawnień — użytkownik autoryzuje apkę do dostępu do swoich urządzeń bez podawania hasła.

mTLS + X.509 Certs
Certyfikaty per urządzenie — gold standard dla produkcji IoT. AWS IoT Core, Azure IoT Hub.

JWT Flow w aplikacji mobilnej:

1. Login (email/pwd) → Auth Server
2. Serwer zwraca access_token (1h) + refresh_token (30d)
3. App dołącza Bearer token do każdego żądania HTTP / MQTT username
4. Po wygaśnięciu: refresh_token → nowy access_token
5. Refresh token rotacja — zmniejsza ryzyko kradzieży

Role-Based Access Control (RBAC)

Admin	Operator	Viewer
Pełny dostęp + zarządzanie flotą	Sterowanie i monitoring	Tylko odczyt danych

Persystencja danych i synchronizacja offline-first

Aplikacje IoT muszą działać przy słabym lub braku połączenia — strategia offline-first jest kluczowa

Lokalne bazy danych:

Room (Android)

SQLite wrapper z walidacją schema w compile-time, obsługa Flows dla reaktywnych zapytań, migracje

Core Data (iOS)

Managed Object Context, persistent stores, NSFetchedResultsController do reaktywnych list

SQLite.swift / GRDB

Cross-platform (KMP), typesafety, FTS (full-text search) dla historii danych IoT

Realm Database

Mobilna baza obiektowa — szybka, reaktywna, z synchronizacją Atlas Sync (MongoDB)

Strategia synchronizacji:

```
// Offline queue pattern (Kotlin)
class IoTDataRepository(
    private val localDb: SensorDao,
    private val remoteApi: IoTApiService,
    private val networkMonitor: NetworkMonitor
) {
  fun saveMeasurement(data: SensorData) {
    localDb.insert(data.copy(synced = false))
    if (networkMonitor.isConnected) {
      syncPending()
    }
  }

  private fun syncPending() {
    val unsynced = localDb.getUnsynced()
    unsynced.forEach { data ->
      remoteApi.upload(data).onSuccess {
        localDb.markSynced(data.id)
      }
    }
  }
}
```

Wzorce konfliktu synchronizacji

Last-Write-Wins

CRDT

Server-Authoritative

Serwer rozstrzyga

Przetwarzanie w tle i powiadomienia push w IoT

Android: Background Processing

Foreground Service
MQTT connection utrzymywana przez Foreground Service — widoczna notyfikacja wymagana przez OS. Najlepsza opcja dla ciągłego IoT.

WorkManager
Zadania periodyczne (synchronizacja, raportowanie). Gwarancja wykonania nawet po restarcie. Obsługuje Doze Mode.

AlarmManager
Dokładne timingi (np. próbkowanie co 1 min). Wymaga pozwolenia SCHEDULE_EXACT_ALARM (Android 12+).

JobScheduler
Elastyczne warunki (sieć, ładowanie). Wbudowany w system — nie wymaga Wake Locks.

IOS: Background Modes

Background Fetch
System wywołuje apkę co jakiś czas (≥15 min) — ograniczone, system decyduje o częstotliwości

Push to Sync (Silent Push)
Serwer wysyła APNs silent notification → apka budzi się i synchronizuje (30s limit)

Background URLSession
Pobieranie/wysyłanie dużych danych w tle — transfer kontynuowany po zawieszeniu apki

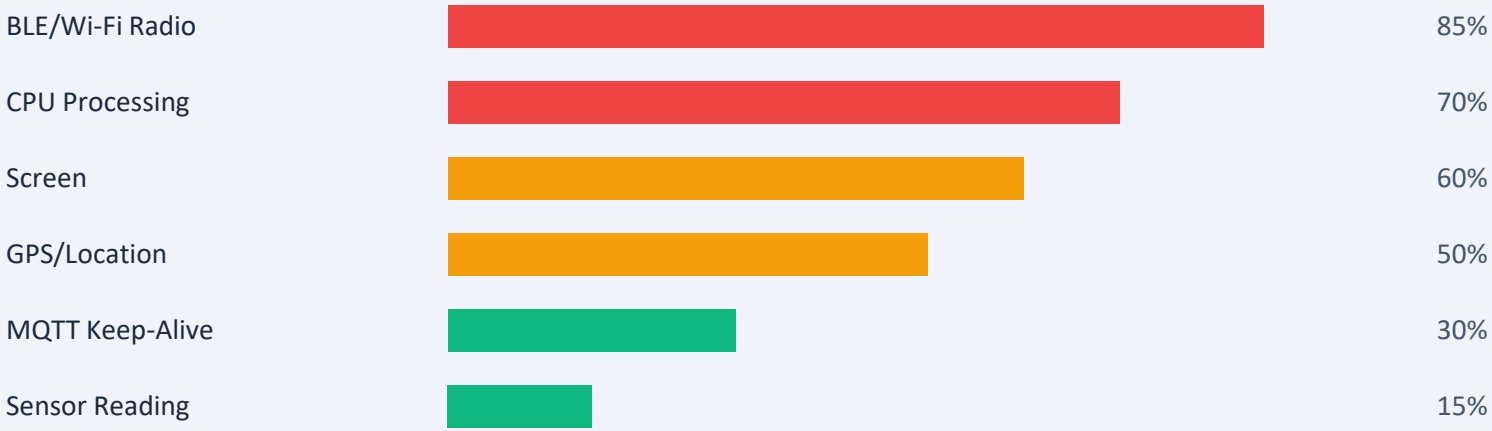
CoreBluetooth CBManager
Stan.restoration — odtworzenie połączeń BLE po restarcie apki, stała łączność z urządzeniami

Push Notifications dla IoT — FCM (Android) / APNs (iOS): alerty progowe, alarmy bezpieczeństwa, statusy urządzeń, raporty agregowane

Optymalizacja zużycia energii w aplikacjach IoT

Urządzenia IoT są często zasilane bateryjnie — optymalizacja energetyczna jest wymaganiem niefunkcjonalnym pierwszej klasy

Główne konsumenci energii



Techniki optymalizacji

- Adaptive polling — rzadsze próbkowanie gdy dane stabilne
- Batch uploads — grupowanie danych i wysyłka rzadko
- BLE connection interval tuning — dłuższe interwały przy nieaktywności
- Data compression przed transmisją — mniejsze pakiety

Projektowanie UX/UI dla aplikacji mobilnych IoT

Dobre UI/UX dla IoT musi priorytetyzować szybkość dostępu do informacji krytycznych i intuicyjność sterowania

① Hierarchia informacji

Krytyczne alerty na pierwszym planie. Dashboard ze statusem wszystkich urządzeń na głównym ekranie. Szczegóły na 2. poziomie nawigacji.

② Status w czasie rzeczywistym

Wskaźniki online/offline dla każdego urządzenia. Timestamp ostatniego odczytu. Animowane zmiany wartości (nie tylko suche liczby).

③ Kontrolki dotykowe

Przyciski sterowania minimum 44×44dp (Android) / 44pt (iOS). Toggle switches zamiast pól tekstowych dla stanu ON/OFF.

④ Obsługa błędów

Wyraźna informacja o utracie połączenia. Pokazuj ostatnią znana wartość z timestampem. Retry mechcanism z exponential backoff.

⑤ Powiadomienia kontekstowe

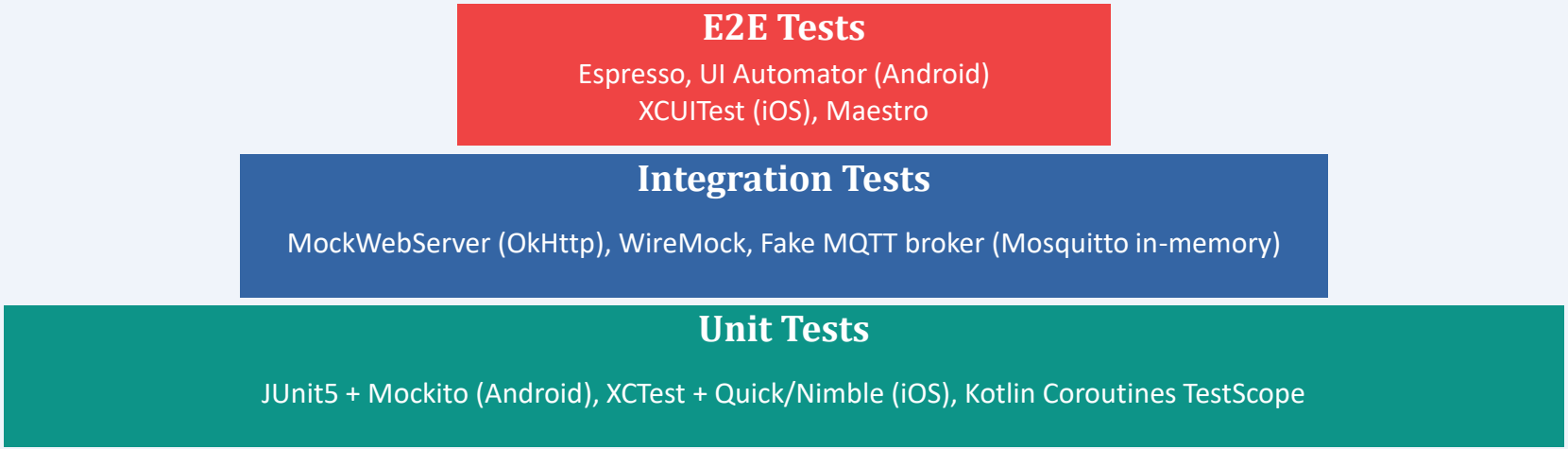
Alerty z kontekstem — nie tylko 'Alarm!' ale 'Temperatura w salonie: 38°C (próg: 30°C) — 14:32'. Możliwość wyciszenia z ekranu powiadomienia.

⑥ Dark Mode i dostępność

Dark Mode ważny dla urządzeń przemysłowych (słaby kontrast w jasnych warunkach). Wsparcie TalkBack/VoiceOver, minimalny kontrast 4.5:1.

Strategie i narzędzia testowania aplikacji IoT

Piramida testów IoT: testy jednostkowe dominują, integracyjne pokrywają protokoły, E2E walidują scenariusze użytkownika



Specyfika testowania IoT

Symulacja urządzeń

Wirtualny sensor w Dockerze z MQTT, generowanie danych testowych

Testy połączenia

Symulacja utraty sieci, wolnego łącza (Charles Proxy, tc netem)

Testy protokołów

Walidacja poprawności wiadomości MQTT/CoAP, sprawdzanie QoS

Testy bezpieczeństwa

Penetration testing (OWASP Mobile), Zed Attack Proxy (ZAP)

Zarządzanie flotą urządzeń IoT z aplikacji mobilnej

Device Management obejmuje cały lifecycle urządzenia — od provisioning po decommissioning

Provisioning → Rejestracja → Monitoring → Aktualizacja (OTA) → Diagnostyka → Decommission

Provisioning (QR Code / BLE)

Użytkownik skanuje QR kod na urządzeniu → aplikacja wysyła dane Wi-Fi i certyfikat X.509 przez BLE (secure channel) → urządzenie łączy się z brokerem IoT. Użycie: AWS IoT Just-in-Time-Provisioning.

Over-The-Air (OTA) Update

Aplikacja mobilna pobiera manifest aktualizacji z serwera (wersja, URL, hash SHA-256 firmware). Weryfikacja podpisu cyfrowego. Wysłanie URL przez MQTT do urządzenia. Monitorowanie postępu w czasie rzeczywistym.

Remote Diagnostics

Shadow Device / Device Twin — wirtualna kopia stanu urządzenia w chmurze. Różnica między stanem reported (rzeczywistym) a desired (oczekiwanym) uruchamia akcję naprawczą. Logi urządzeń przez MQTT diagnostics topic.

Fleet Analytics

Dashboard z agregowanymi statystykami: dostępność urządzeń (%), średnia latencja, liczba błędów, zużycie baterii floty. Alerty gdy > X% urządzeń offline. Eksport danych CSV/PDF z aplikacji.

Case Study 1: Aplikacja Smart Home z IoT

Architektura systemu

Urządzenia

Czujniki temp/wilg (Zigbee), żarówki Hue, zamek Z-Wave, kamera IP, termostat Z-Wave

Hub lokalny

Raspberry Pi 4 + Home Assistant + Mosquitto MQTT Broker. Brama do chmury przez VPN.

Chmura

AWS IoT Core jako MQTT broker w chmurze, DynamoDB (historia), Lambda (automatyzacje), SNS (alerty)

Aplikacja mobilna

Flutter — Android + iOS z jednej bazy kodu. Material You design. Offline support z Hive DB.

Funkcjonalności i wyzwania

Zaimplementowane funkcje:

- Dashboard z wszystkimi urządzeniami (live status)
- Automatyzacje (jeśli temp > 25°C → włącz AC)
- Historia danych — wykresy 24h / 7d / 30d
- Geofencing — auto zamykanie zamka po wyjeździe
- Widgety ekranu głównego (Android 12+)

Napotkane wyzwania

⚠ **Heterogeniczność protokołów:**
Rozwiązanie: Home Assistant jako universal translator

⚠ **Latencja przez VPN:**
Rozwiązanie: lokalne MDNS discovery + direct LAN fallback

⚠ **Zarządzanie baterią:**
Rozwiązanie: adaptacyjne interwały polling + push only dla alertów

Case Study 2: Przemysłowy system monitoringu maszyn (IIoT)

System monitoringu parku maszynowego fabryki - 500 maszyn, 15 000 czujników, 200 TB danych/rok

<5 ms	99.99%	40%	18 mies.
Latencja alertów	Dostępność systemu	Redukcja awarii	ROI projektu

Stos technologiczny

- Czujniki → PLC → OPC-UA → MQTT Gateway → AWS IoT Core
- TimescaleDB (PostgreSQL + time-series) dla danych historycznych
- Apache Kafka dla event streaming (anomalie, alerty)
- TensorFlow Lite — predictive maintenance modele na tablet Android
- React Native tablet app — operator panel z AR overlay (kamera)

Kluczowe wnioski z projektu

Protocol translation krytyczny
OPC-UA, Modbus, PROFINET - każdy PLC mówi innym językiem. Gateway jest kluczowy.

Edge ML opłacalne
Detekcja anomalii na urządzeniu zmniejsza transmisję do chmury o 95%. Koszt: model 2 MB.

Security compliance
ISO 27001 + IEC 62443; regulatorzy przemysłowi wymagają formalnego audytu bezpieczeństwa.

Crew training kluczowy
Najlepszy system nie zadziała bez przeszkolonego personelu. 3-miesięczny plan wdrożenia.

Trendy i Podsumowanie

Matter Standard

Nowy unified protocol (Apple/Google/Amazon/Samsung) — jeden ekosystem smart home

AI/ML na urządzeniu

TFLite, CoreML, LiteRT — coraz potężniejsze modele działające offline na mobile

5G + NB-IoT

Ultra-niska latencja 5G dla krytycznych zastosowań, NB-IoT dla masowych deploymentów

Digital Twins

Wirtualne repliki urządzeń fizycznych — symulacja, predykcja awarii, optymalizacja

Edge AI Chips

Apple Neural Engine, Google Edge TPU, ARM Ethos — dedykowany hardware AI na urządzeniach

WebAssembly IoT

WASM jako universal runtime — jedna logika biznesowa na mikrokontrolery, mobile i cloud

Kluczowe wnioski wykładu:

- MQTT + TLS = fundament bezpiecznej komunikacji IoT dla aplikacji mobilnych
- Architektura MVVM/Clean Architecture z offline-first to standard produkcyjny
- Edge computing i ML on-device zmniejszają latencję i koszty transmisji
- Security by Design — bezpieczeństwo od pierwszego dnia projektu, nie na końcu

Pytania, dyskusja i koniec