Lekcja
Temat: Modele baz danych

Na potrzeby baz danych zostały zdefiniowane klasyczne techniki organizowania informacji, zwane modelami baz danych.

Model danych to abstrakcyjny opis sposobu przedstawiania i wykorzystania danych. Definiuje on logiczną reprezentację danych oraz relacje między nimi.

Na model danych składają się:

- struktura — opis sposobu przedstawiania obiektów (encji) modelowanego wycinka świata oraz ich związków,
- ograniczenia — reguły kontrolujące spójność i poprawność danych,
- operacje — zbiór działań, które umożliwiają dostęp do struktur.

Głównymi modelami baz danych są:

1. Tradycyjne (przedrelacyjne) modele

a) model hierarchiczny,

b) model sieciowy,

2. Model relacyjny (najpopularniejszy od lat 80.)

3. Modele post-relacyjne / NoSQL

a) Model dokumentowy

- Dane przechowywane jako dokumenty (JSON, BSON, XML)
- Struktura hierarchiczna wewnątrz dokumentu
- **Przykład:** MongoDB, Couchbase
- **Użycie:** katalogi produktów, profile użytkowników

b) Model klucz-wartość

- Proste pary: klucz → wartość (dowolne dane)
- Bardzo szybki dostęp po kluczu
- **Przykład:** Redis, Amazon DynamoDB
- **Użycie:** cache, sesje, konfiguracje

c) Model szerokokolumnowy (kolumnowy)

- Dane przechowywane w kolumnach (nie w wierszach)
- Optymalny dla agregacji i analiz
- **Przykład:** Cassandra, HBase, Google Bigtable
- **Użycie:** analityka, big data, systemy czasowych szeregów

d) Model grafowy

- Dane jako węzły, krawędzie i właściwości
- Idealny dla powiązań i relacji
- **Przykład:** Neo4j, Amazon Neptune
- **Użycie:** sieci społecznościowe, rekomendacje, wykrywanie oszustw

4. Nowoczesne / hybrydowe modele

a) Modele wielomodelowe

- Łączą różne modele w jednym systemie
- **Przykład:** PostgreSQL (relacyjny + JSON + graf), ArangoDB (dokumentowy + grafowy)

b) Bazy time-series

- Zoptymalizowane pod dane czasowe (znacznik czasu jako główny wymiar)
- **Przykład:** InfluxDB, TimescaleDB

c) Bazy przestrzenne/geograficzne

- Obsługa danych geograficznych i przestrzennych
- **Przykład:** PostGIS (rozszerzenie PostgreSQL)

d) Bazy pamięciowe (in-memory)

- Cała baza w pamięci RAM
- **Przykład:** Redis, MemSQL, SAP HANA

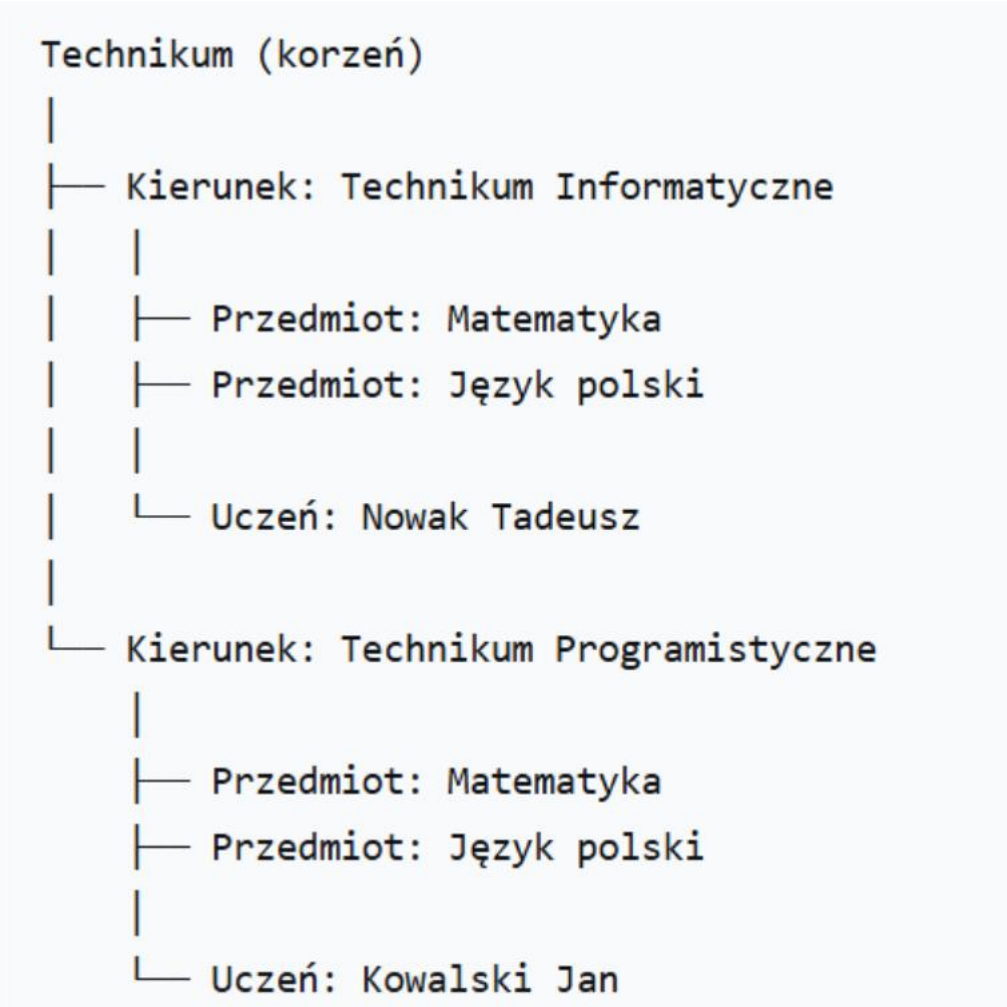
5. Model obiektowy i obiektowo-relacyjny

Model hierarchiczny

To jeden z najstarszych modeli baz danych (powstał w latach 60. XX wieku), w którym dane są organizowane w strukturę **drzewa** (hierarchii). Każde "drzewo" składa się z **węzłów**:

- **Jeden węzeł główny** (korzeń) – nie ma rodzica.
- **Węzły potomne** – każdy ma dokładnie **jednego rodzica**, ale może mieć wiele dzieci.
- Relacje są typu **jeden-do-wielu (1:N)**.
- Dostęp do danych często odbywa się poprzez ścieżki od korzenia do konkretnego rekordu.

Przykład modelu hierarchicznego: Struktura Technikum



Model sieciowy

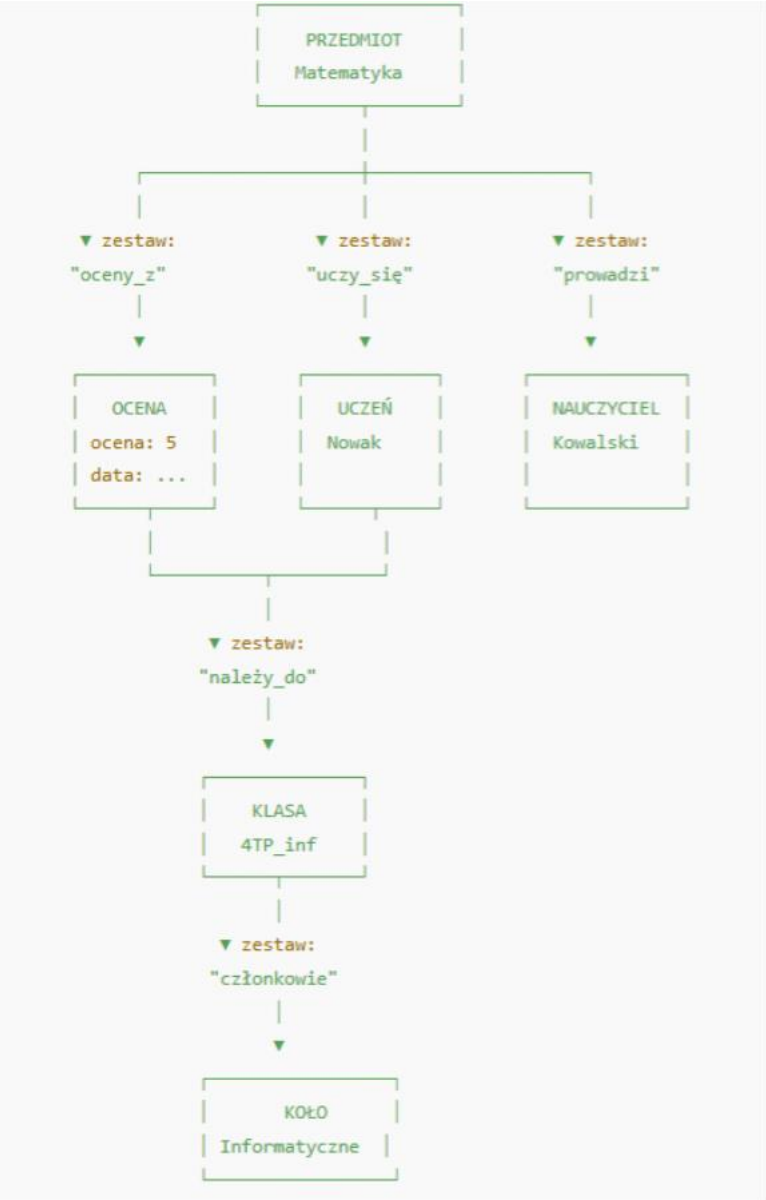
Model sieciowy powstał jako rozwinięcie modelu hierarchicznego, aby rozwiązać jego główne ograniczenia. Został sformalizowany przez grupę **CODASYL** (Conference on Data Systems Languages) w latach 60-70.

Kluczowe cechy:

1. **Struktura grafu** – dane organizowane są jako zbiór rekordów połączonych w dowolną strukturę grafową (nie tylko drzewo)
2. **Jeden rekord może mieć wielu rodziców** – w przeciwieństwie do hierarchicznego (tylko jeden rodzic)
3. **Relacje przechowywane jako wskaźniki fizyczne** między rekordami
4. **Dwa podstawowe elementy:**

   a. **Typ rekordu** – odpowiednik tabeli w modelu relacyjnym
   b. **Zbiór (set)** – nazwana relacja łącząca typy rekordów
5. **Obsługa relacji wiele-do-wielu (M:N)** – główna przewaga nad modelem hierarchicznym

Przykład modelu sieciowego: System szkolny



Model relacyjny

Model relacyjny to najpopularniejszy współczesny model baz danych, stworzony przez Edgara F. Codda w 1970 roku. Opiera się na matematycznej teorii mnogości i algebrze relacji.

Podstawowe pojęcia:

1. **Relacja (tabela)** – zbiór krotek o takiej samej strukturze
2. **Krotka (wiersz, rekord)** – pojedynczy wpis w tabeli
3. **Atrybut (kolumna, pole)** – nazwane pole z określonym typem danych
4. **Klucz główny (Primary Key)** – unikalny identyfikator wiersza
5. **Klucz obcy (Foreign Key)** – odwołanie do klucza głównego innej tabeli
6. **Domeny** – zbiór dopuszczalnych wartości dla atrybutu

Przykład modelu relacyjnego: System szkolny

1. Tabele i ich struktura:

Tabela UCZNIOWIE:

ID_ucznia	Imię	Nazwisko	ID_klasy
1	Jan	Kowalski	101
2	Anna	Nowak	101
3	Tomasz	Wiśniewski	102

PK: ID_ucznia

FK: ID_klasy → KLASY(ID_klasy)

Tabela KLASY:

ID_klasy	Nazwa_klasy	Rok_szkolny
101	4TI	2024
102	3TP	2024
103	2TE	2024

PK: ID_klasy

Tabela PRZEDMIOTY:

ID_przedmiotu	Nazwa_przedmiotu
1	Matematyka
2	Język polski
3	Bazy danych

PK: ID_przedmiotu

Tabela OCENY:

ID_oceny	ID_ucznia	ID_przedmiotu	Ocena	Data
1	1	1	5	2024-01-15
2	1	2	4	2024-01-16
3	2	1	3	2024-01-15
4	3	3	5	2024-01-17

PK: ID_oceny

FK: ID_ucznia → UCZNIOWIE(ID_ucznia)

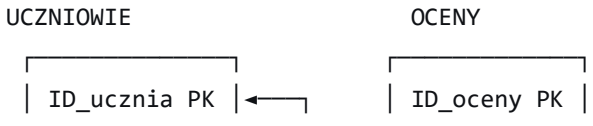
FK: ID_przedmiotu → PRZEDMIOTY(ID_przedmiotu)

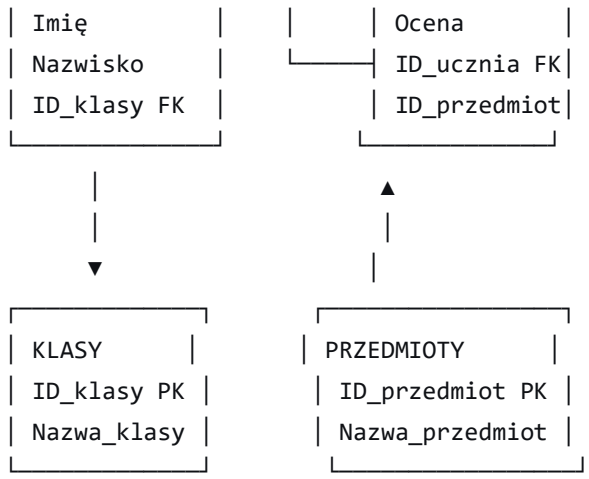
Tabela UCZNIOWIE_PRZEDMIOTY (relacja wiele-do-wielu):

ID_ucznia	ID_przedmiotu
1	1
1	2
2	1
3	3

PK: (ID_ucznia, ID_przedmiotu) - klucz złożony

2. Relacje między tabelami (diagram ER):





Rodzaje relacji:

- **1:N** (jeden do wielu) – jedna klasa ma wielu uczniów
- **M:N** (wiele do wielu) – uczeń ma wiele przedmiotów, przedmiot ma wielu uczniów
- **1:1** (jeden do jednego) – rzadziej stosowane

```
CREATE TABLE UCZNIOWIE (
   ID_ucznia INT PRIMARY KEY,
   Imię VARCHAR(50),
   Nazwisko VARCHAR(50),
   ID_klasy INT,
   FOREIGN KEY (ID_klasy) REFERENCES KLASY(ID_klasy)
);

CREATE TABLE OCENY (
   ID_oceny INT PRIMARY KEY,
   ID_ucznia INT,
   ID_przedmiotu INT,
   Ocena INT CHECK (Ocena BETWEEN 1 AND 6),
   Data DATE,
   FOREIGN KEY (ID_ucznia) REFERENCES UCZNIOWIE(ID_ucznia),
   FOREIGN KEY (ID_przedmiotu) REFERENCES PRZEDMIOTY(ID_przedmiotu)
);
```

Model dokumentowy

Dane przechowywane jako **dokumenty** w formatach JSON, BSON, XML. Każdy dokument jest samodzielną jednostką zawierającą wszystkie dane o danym obiekcie.

Kluczowe cechy:

- **Samoopisujące dokumenty** – struktura zawarta w dokumencie
- **Dynamiczny schemat** – różne dokumenty mogą mieć różne pola
- **Zagnieżdżanie** – możliwość przechowywania obiektów w obiektach
- **Indeksowanie** – po dowolnych polach dokumentu

Przykład modelu dokumentowego: System blogowy (MongoDB)

```
// Kolekcja "posts"
{
 "_id": "507f1f77bcf86cd799439011",
 "title": "Wprowadzenie do NoSQL",
 "author": {
   "name": "Jan Kowalski",
   "email": "jan@example.com",
   "bio": "Ekspert baz danych"
 },
 "tags": ["NoSQL", "MongoDB", "Bazy danych"],
 "content": "NoSQL to nowoczesne podejście...",
 "comments": [
   {
     "user": "Anna Nowak",
     "text": "Świetny artykuł!",
     "date": "2024-01-15",
     "likes": 5
   },
   {
     "user": "Tomasz Wiśniewski",
     "text": "Brakuje przykładów",
     "date": "2024-01-16"
     // Brak pola 'likes' - to OK w modelu dokumentowym!
   }
 ],
 "metadata": {
   "views": 1250,
   "reading_time": "5 min",
   "published": true
 }
}
```

```
// Inny post może mieć zupełnie inną strukturę:
{
 "_id": "507f1f77bcf86cd799439012",
 "title": "Nowości w JavaScript",
 "author": "Maria Zielińska",  // String zamiast obiektu!
 "category": "programming",
 "body": "ES2024 wprowadza...",  // Inna nazwa pola niż 'content'
 "created_at": "2024-01-20T10:30:00Z"
}
```

Model klucz-wartość

Najprostszy model – jak **słownik** lub **hashmapa**. Klucz (unikalny identyfikator) → Wartość (dowolne dane).

Kluczowe cechy:

- **Ekstremalnie szybki dostęp** O(1) po kluczu
- **Brak schematu** – wartość może być czymkolwiek
- **Proste operacje**: GET, SET, DELETE
- **TTL** (Time To Live) – automatyczne usuwanie po czasie

Przykład modelu klucz-wartość: System cache i sesji (Redis)

```
# Cache stron internetowych
SET "page:/products/laptop" "<html>...duża strona...</html>"
EXPIRE "page:/products/laptop" 300  # Usuń po 5 minutach

# Koszyk zakupowy użytkownika
HSET "cart:user123" "laptop" 2 "phone" 1 "headphones" 1
EXPIRE "cart:user123" 3600  # Wygaśnięcie koszyka po 1 godzinę

# Licznik odwiedzin
INCR "page_views:/homepage"
INCRBY "page_views:/homepage" 5

# Leaderboard gry
ZADD "game_leaderboard" 1500 "player1" 2300 "player2" 1800 "player3"
ZREVRANGE "game_leaderboard" 0 2 WITHSCORES  # Top 3 graczy

# Sesja użytkownika
SET "session:abc123" '{"user_id": 456, "username": "janek", "role": "admin"}'
EXPIRE "session:abc123" 1800  # Sesja wygasa po 30 minut
```

Model szerokokolumnowy (kolumnowy)

Dane przechowywane w **kolumnach** zamiast wierszy. Każda kolumna przechowywana osobno, optymalna dla agregacji.

Kluczowe cechy:

- **Przechowywanie kolumnowe** – szybkie skanowanie kolumn
- **Skalowanie poziome** – partycjonowanie
- **Zoptymalizowany dla zapytań agregujących**
- **Tolerancja na brak spójności** (eventual consistency)

Przykład modelu szerokokolumnowy: Dane sensorów IoT (Cassandra)

```
-- Tworzenie tabeli (Cassandra Query Language - podobne do SQL)
CREATE TABLE sensor_readings (
   sensor_id uuid,
   date date,
   timestamp timestamp,
   temperature decimal,
   humidity decimal,
   pressure decimal,
   location text,
   PRIMARY KEY ((sensor_id, date), timestamp)
) WITH CLUSTERING ORDER BY (timestamp DESC);

-- Wstawianie danych
INSERT INTO sensor_readings
(sensor_id, date, timestamp, temperature, humidity, location)
VALUES (
   uuid(),
   '2024-01-20',
   '2024-01-20 10:30:00',
   22.5,
   45.0,
   'Warszawa'
);

-- Struktura przechowywania (kolumnowa):
-- Na dysku dane są grupowane KOLUMNOWO:
-- Wszystkie wartości 'temperature' obok siebie
```

```sql
-- Wszystkie wartości 'humidity' obok siebie

-- Zapytanie: średnia temperatura wg lokalizacji
SELECT location, AVG(temperature) as avg_temp
FROM sensor_readings
WHERE date = '2024-01-20'
GROUP BY location;
```

Model grafowy

Dane jako **węzły** (encje) i **krawędzie** (relacje). Idealny do reprezentowania powiązań.

Kluczowe cechy:

- **Węzły** – encje z właściwościami
- **Krawędzie** – relacje z typem i właściwościami
- **Przechodzenie grafu** – znajdowanie ścieżek
- **Wykrywanie wzorców** – znajdowanie podgrafów

Przykład model grafowy

```cypher
// Cypher - język zapytań dla grafów

// Tworzenie użytkowników (węzłów)
CREATE (jan:User {
   id: 1,
   name: "Jan Kowalski",
   age: 28,
   city: "Warszawa"
})

CREATE (anna:User {
   id: 2,
   name: "Anna Nowak",
   age: 32,
   city: "Kraków"
})

CREATE (tomek:User {
   id: 3,
```

```
    name: "Tomasz Wiśniewski",
    age: 25,
    city: "Warszawa"
})

// Tworzenie relacji
CREATE (jan)-[:FRIENDS_WITH {since: "2022-05-10"}]->(anna)
CREATE (jan)-[:FRIENDS_WITH {since: "2023-01-15"}]->(tomek)
CREATE (anna)-[:FOLLOWS]->(tomek)

// Jan lubi programowanie
CREATE (java:Skill {name: "Java", category: "programming"})
CREATE (python:Skill {name: "Python", category: "programming"})
CREATE (jan)-[:KNOWS {level: "expert"}]->(java)
CREATE (jan)-[:KNOWS {level: "intermediate"}]->(python)
CREATE (anna)-[:KNOWS {level: "beginner"}]->(python)

// Zapytanie: znajdź znajomych Jana którzy znają Javę
MATCH (jan:User {name: "Jan Kowalski"})-[:FRIENDS_WITH]-(friend:User)
WHERE (friend)-[:KNOWS]->(:Skill {name: "Java"})
RETURN friend.name

// Zapytanie: znajdź ścieżkę między Janem a osobą znającą Python
MATCH path = (jan:User {name: "Jan Kowalski"})-[*..3]-(pythonExpert:User)
WHERE (pythonExpert)-[:KNOWS]->(:Skill {name: "Python"})
RETURN path

// Wizualizacja grafu:
// (Jan) --FRIENDS_WITH--> (Anna) --FOLLOWS--> (Tomasz)
//   |                          |
//   ---KNOWS-->(Java)          ---KNOWS-->(Python)
//   |
//   ---KNOWS-->(Python)
```

Model obiektowy i obiektowo-relacyjny

1. Model obiektowy

Model obiektowy przenosi zasady **programowania obiektowego (OOP)** do bazy danych. Dane przechowywane są jako **obiekty** z:

- **Atrybutami** (pola, właściwości)
- **Metodami** (zachowanie)
- **Dziedziczeniem** (hierarchie klas)

- **Enkapsulacją** (hermetyzacja)

Kluczowe cechy:

- **Obiekty z identyfikatorami OID** (Object ID)
- **Bezpośrednie mapowanie** obiektów aplikacji na obiekty bazy
- **Brak potrzeby ORM** (Object-Relational Mapping)
- **Zachowanie z danymi** – metody przechowywane w bazie

Przykład modelu obiektowego: System biblioteczny (db4o)

```
// Klasy Java (również przechowywane w bazie)
public class Osoba {
    private String id;
    private String imie;
    private String nazwisko;

    public Osoba(String imie, String nazwisko) {
        this.id = UUID.randomUUID().toString();
        this.imie = imie;
        this.nazwisko = nazwisko;
    }

    // Metody - również dostępne w zapytaniach
    public String getPelnaNazwa() {
        return imie + " " + nazwisko;
    }
}

public class Czytelnik extends Osoba {
    private Date dataRejestracji;
    private List<Wypozyczenie> wypozyczenia = new ArrayList<>();

    public Czytelnik(String imie, String nazwisko) {
        super(imie, nazwisko);
        this.dataRejestracji = new Date();
    }

    public void wypozyczKsiazke(Ksiazka ksiazka) {
        Wypozyczenie w = new Wypozyczenie(this, ksiazka);
        wypozyczenia.add(w);
        ksiazka.setWypozyczona(true);
    }

    public int getLiczbaWypozyczen() {
        return wypozyczenia.size();
    }
}

public class Ksiazka {
    private String isbn;
    private String tytul;
    private Autor autor;
```

```
    private boolean wypozyczona;

    // Metoda w klasie przechowywanej w bazie
    public boolean jestDostepna() {
        return !wypozyczona;
    }
}

// Operacje na bazie obiektowej (db4o)
ObjectContainer db = Db4oEmbedded.openFile("biblioteka.db");

// Zapis obiektu - bez mapowania!
Czytelnik czytelnik = new Czytelnik("Jan", "Kowalski");
Ksiazka ksiazka = new Ksiazka("123-456", "Programowanie w Java");
db.store(czytelnik);
db.store(ksiazka);

// Zapytanie natywne - użycie metod obiektów!
List<Czytelnik> czytelnicy = db.query(new Predicate<Czytelnik>() {
    public boolean match(Czytelnik czytelnik) {
        // Używamy metody obiektu w zapytaniu!
        return czytelnik.getLiczbaWypozyczen() > 5;
    }
});

// Zapytanie QBE (Query by Example)
Czytelnik przykład = new Czytelnik(null, "Kowalski");
List<Czytelnik> wynik = db.queryByExample(przykład);

// Pobranie powiązanych obiektów
czytelnik.wypozyczKsiazke(ksiazka);  // Użycie metody obiektu
db.store(czytelnik);  // Zapis całego grafu obiektów

db.close();
```

Struktura danych w bazie obiektowej:

```
Obiekt Czytelnik [OID: 0x1234]:
┌─────────────────────────────────────────┐
│ Nagłówek: OID=0x1234, Typ=Czytelnik     │
├─────────────────────────────────────────┤
│ Dane:                                   │
│ - id: "550e8400-e29b-41d4-a716-446655"  │
│ - imie: "Jan"                           │
│ - nazwisko: "Kowalski"                  │
│ - dataRejestracji: 2024-01-20           │
│ - wypozyczenia: [OID:0x5678, OID:0x9ABC]│
├─────────────────────────────────────────┤
│ Metody (wskazania):                     │
│ - getPelnaNazwa()                       │
│ - wypozyczKsiazke()                     │
│ - getLiczbaWypozyczen()                 │
└─────────────────────────────────────────┘
    ↓
```

```
Obiekt Wypozyczenie [OID: 0x5678]...
Obiekt Ksiazka [OID: 0x9ABC]...
```

2. Model obiektowo-relacyjny (OR)

Rozszerzenie modelu relacyjnego o cechy obiektowe. Łączy zalety obu światów:

- **Tabele** z relacyjnego
- **Typy złożone**, dziedziczenie, metody z obiektowego

Kluczowe cechy:

1. **UDT** (User-Defined Types) – własne typy danych
2. **Tabele zagnieżdżone** – tabele w tabelach
3. **Dziedziczenie tabel** – hierarchie tabel
4. **Metody w tabelach** – zachowanie w bazie
5. **REF** – referencje do wierszy

Przykład modelu obiektowo-relacyjny: System kadrowy (PostgreSQL z rozszerzeniami OR)

```
-- PostgreSQL z rozszerzeniami obiektowo-relacyjnymi

-- 1. TWORZENIE TYPÓW ZŁOŻONYCH (UDT)
CREATE TYPE adres_typ AS (
  ulica VARCHAR(100),
  numer VARCHAR(10),
  miasto VARCHAR(50),
  kod_pocztowy VARCHAR(6)
);

CREATE TYPE kontakt_typ AS (
  email VARCHAR(100),
  telefon VARCHAR(20),
  telefon_komórkowy VARCHAR(20)
);

-- 2. TABELA Z UDT I METODAMI
CREATE TABLE pracownicy (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  imie VARCHAR(50),
  nazwisko VARCHAR(50),
  adres adres_typ,  -- Typ złożony!
```

```
  kontakt kontakt_typ,
  data_zatrudnienia DATE,
  wynagrodzenie DECIMAL(10,2),

  -- Metoda jako funkcja w tabeli
  FUNCTION pelny_adres() RETURNS VARCHAR
  AS $$
  BEGIN
    RETURN (adres).ulica || ' ' || (adres).numer || ', ' ||
        (adres).kod_pocztowy || ' ' || (adres).miasto;
  END;
  $$ LANGUAGE plpgsql
);

-- 3. DZIEDZICZENIE TABEL
CREATE TABLE osoby (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  imie VARCHAR(50),
  nazwisko VARCHAR(50),
  pesel VARCHAR(11)
);

CREATE TABLE klienci (
  numer_karty VARCHAR(20),
  data_rejestracji DATE
) INHERITS (osoby);  -- Dziedziczenie!

CREATE TABLE dostawcy (
  nip VARCHAR(10),
  regon VARCHAR(9)
) INHERITS (osoby);

-- 4. TABELE ZAGNIEŻDŻONE (kolekcje)
CREATE TABLE zamowienia (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  data_zamowienia DATE,
  klient_id INTEGER,

  -- Zagnieżdżona tabela z pozycjami zamówienia
  pozycje_zamowienia pozycja_zamowienia_typ[]
);

CREATE TYPE pozycja_zamowienia_typ AS (
  produkt_id INTEGER,
  nazwa_produktu VARCHAR(100),
  ilosc INTEGER,
  cena_jednostkowa DECIMAL(10,2),

  -- Metoda w typie
```

```
  FUNCTION wartosc_calkowita() RETURNS DECIMAL
  AS $$
  BEGIN
    RETURN $1.ilosc * $1.cena_jednostkowa;
  END;
  $$ LANGUAGE plpgsql
);

-- 5. OBIEKTOWE ZAPYTANIA
-- Wstawianie z typami złożonymi
INSERT INTO pracownicy (imie, nazwisko, adres, kontakt)
VALUES (
  'Jan',
  'Kowalski',
  ROW('Marszałkowska', '123', 'Warszawa', '00-001')::adres_typ,
  ROW('jan@firma.pl', '222333444', '555666777')::kontakt_typ
);

-- Dostęp do pól typów złożonych
SELECT
  imie,
  nazwisko,
  (adres).miasto,  -- Dostęp do pola typu złożonego
  (kontakt).email,
  pelny_adres()  -- Wywołanie metody
FROM pracownicy
WHERE (adres).miasto = 'Warszawa';

-- Zapytanie na zagnieżdżonych danych
SELECT
  z.id,
  z.data_zamowienia,
  pz.nazwa_produktu,
  pz.ilosc,
  pz.cena_jednostkowa,
  pz.wartosc_calkowita()  -- Metoda na typie zagnieżdżonym
FROM zamowienia z,
   UNNEST(z.pozycje_zamowienia) AS pz  -- Rozwijanie zagnieżdżonej tabeli
WHERE pz.wartosc_calkowita() > 1000;

-- 6. REFERENCJE OBIEKTÓW (OID)
CREATE TABLE produkty OF produkt_typ (  -- Tabela obiektów
  PRIMARY KEY (id)
) WITH OIDS;  -- Obiektowe identyfikatory

CREATE TABLE zamowienia_ref (
  id SERIAL,
  produkt REF produkt_typ  -- Referencja do obiektu
);
```

```sql
-- 7. POLIMORFICZNE FUNKCJE
CREATE OR REPLACE FUNCTION oblicz_podatek(osoba osoby)
RETURNS DECIMAL AS $$
BEGIN
  -- Różne implementacje w zależności od typu
  IF TG_OP = 'klienci' THEN
    RETURN 0;  -- Klienci nie płacą podatku
  ELSIF TG_OP = 'dostawcy' THEN
    RETURN 1000;  -- Stały podatek
  END IF;
  RETURN 0;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```