

```
In [30]: import torch
import torch.nn as nn
import torch.optim as optim
from torch.utils.data import DataLoader, TensorDataset
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

seed = 14
torch.manual_seed(seed)
np.random.seed(seed)

device = "cuda" if torch.cuda.is_available() else "cpu"
print(f"Using {device} device")

from keras.datasets import imdb
vocab_size = 10000
(X_train, y_train), (X_test, y_test) = imdb.load_data(num_words=vocab_size)
```

Using cpu device

```
In [31]: print(f"Rozmiar zbioru treningowego: {len(X_train)}")
print(f"Rozmiar zbioru testowego: {len(X_test)}")
print(f"Przykładowa recenzja (długość): {len(X_train[0])}")
print(f"Przykładowa etykieta: {y_train[0]}")

# Statystyki długości sekwencji
lengths = [len(x) for x in X_train]
print(f"\nStatystyki długości sekwencji:")
print(f"  Min: {min(lengths)}, Max: {max(lengths)}, Średnia: {np.mean(lengths)}")
```

Rozmiar zbioru treningowego: 25000  
Rozmiar zbioru testowego: 25000  
Przykładowa recenzja (długość): 218  
Przykładowa etykieta: 1

Statystyki długości sekwencji:  
 Min: 11, Max: 2494, Średnia: 238.7

```
In [32]: # Funkcja do padowania sekwencji do równej długości
def pad_sequences(sequences, max_len=None, padding_value=0):
    if max_len is None:
        max_len = max(len(seq) for seq in sequences)

    padded = []
    for seq in sequences:
        if len(seq) > max_len:
            # Przycinamy sekwencję (bierzemy ostatnie max_len elementów)
            padded.append(seq[-max_len:])
        else:
            # Padujemy zerami na początku
            padded.append([padding_value] * (max_len - len(seq)) + list(seq))

    return np.array(padded)
```

```

# Przygotowanie danych z różnymi długościami sekwencji
def prepare_data(X_train, y_train, X_test, y_test, max_len=None, subset_size=None):
    # Opcjonalne ograniczenie rozmiaru zbioru treningowego
    if subset_size is not None:
        indices = np.random.choice(len(X_train), min(subset_size, len(X_train)))
        X_train_subset = [X_train[i] for i in indices]
        y_train_subset = [y_train[i] for i in indices]
    else:
        X_train_subset = X_train
        y_train_subset = y_train

    # Padowanie sekwencji
    X_train_padded = pad_sequences(X_train_subset, max_len=max_len)
    X_test_padded = pad_sequences(X_test, max_len=max_len)

    # Konwersja do tensorów
    X_train_tensor = torch.LongTensor(X_train_padded)
    y_train_tensor = torch.FloatTensor(y_train_subset)
    X_test_tensor = torch.LongTensor(X_test_padded)
    y_test_tensor = torch.FloatTensor(y_test)

    return X_train_tensor, y_train_tensor, X_test_tensor, y_test_tensor

# Test funkcji
X_tr, y_tr, X_te, y_te = prepare_data(X_train, y_train, X_test, y_test, max_len=100)
print(f"Kształt X_train po padowaniu: {X_tr.shape}")
print(f"Kształt y_train: {y_tr.shape}")
print(f"Kształt X_test po padowaniu: {X_te.shape}")

```

Kształt X\_train po padowaniu: torch.Size([5000, 100])  
 Kształt y\_train: torch.Size([5000])  
 Kształt X\_test po padowaniu: torch.Size([25000, 100])

```

In [33]: class RecurrentNetwork(nn.Module):
    def __init__(self, vocab_size, embed_dim=64, hidden_dim=64, rnn_type='RNN'):
        super(RecurrentNetwork, self).__init__()

        # Warstwa Embedding – konwertuje indeksy słów na wektory
        self.embedding = nn.Embedding(vocab_size, embed_dim, padding_idx=0)

        # Warstwa rekurencyjna
        if rnn_type == 'RNN':
            self.rnn = nn.RNN(embed_dim, hidden_dim, batch_first=True)
        elif rnn_type == 'LSTM':
            self.rnn = nn.LSTM(embed_dim, hidden_dim, batch_first=True)
        elif rnn_type == 'GRU':
            self.rnn = nn.GRU(embed_dim, hidden_dim, batch_first=True)
        else:
            raise ValueError(f"Nieznany typ RNN: {rnn_type}")

        self.rnn_type = rnn_type

        # Warstwa wyjściowa – klasyfikacja binarna
        self.fc = nn.Linear(hidden_dim, 1)
        self.sigmoid = nn.Sigmoid()

```

```

def forward(self, x):
    # x shape: [batch, seq_len]

    # Embedding: [batch, seq_len] -> [batch, seq_len, embed_dim]
    embedded = self.embedding(x)

    # RNN: [batch, seq_len, embed_dim] -> [batch, seq_len, hidden_dim]
    if self.rnn_type == 'LSTM':
        output, (hidden, cell) = self.rnn(embedded)
    else:
        output, hidden = self.rnn(embedded)

    # Bierzemy ostatni stan ukryty
    # hidden shape: [1, batch, hidden_dim] -> [batch, hidden_dim]
    last_hidden = hidden.squeeze(0)

    # Klasyfikacja
    out = self.fc(last_hidden)
    out = self.sigmoid(out)

    return out.squeeze(1)

# Test modelu
model_test = RecurrentNetwork(vocab_size=10000, embed_dim=32, hidden_dim=32,
print(model_test)
print(f"\nLiczba parametrów: {sum(p.numel() for p in model_test.parameters())

```

```

RecurrentNetwork(
  (embedding): Embedding(10000, 32, padding_idx=0)
  (rnn): RNN(32, 32, batch_first=True)
  (fc): Linear(in_features=32, out_features=1, bias=True)
  (sigmoid): Sigmoid()
)

```

Liczba parametrów: 322145

```

In [34]: def train_model(model, train_loader, criterion, optimizer, epochs=10):
    """Funkcja do trenowania modelu."""
    model.train()
    loss_history = []

    for epoch in range(epochs):
        running_loss = 0.0
        for batch_idx, (X, y) in enumerate(train_loader):
            X, y = X.to(device), y.to(device)

            # Forward pass
            pred = model(X)
            loss = criterion(pred, y)

            # Backward pass
            optimizer.zero_grad()
            loss.backward()
            optimizer.step()

            running_loss += loss.item()

```

```

        avg_loss = running_loss / len(train_loader)
        loss_history.append(avg_loss)
        print(f"Epoch {epoch+1}/{epochs}, Loss: {avg_loss:.4f}")

    return loss_history

def evaluate_model(model, test_loader):
    """Funkcja do ewaluacji modelu."""
    model.eval()
    correct = 0
    total = 0

    with torch.no_grad():
        for X, y in test_loader:
            X, y = X.to(device), y.to(device)
            pred = model(X)
            predicted = (pred > 0.5).float()
            total += y.size(0)
            correct += (predicted == y).sum().item()

    accuracy = correct / total
    return accuracy

def run_experiment(X_train, y_train, X_test, y_test,
                  vocab_size, embed_dim=64, hidden_dim=64,
                  rnn_type='RNN', max_len=None, subset_size=5000,
                  batch_size=64, epochs=10, lr=0.001):
    # Przygotowanie danych
    X_tr, y_tr, X_te, y_te = prepare_data(
        X_train, y_train, X_test, y_test,
        max_len=max_len, subset_size=subset_size
    )

    # DataLoader
    train_dataset = TensorDataset(X_tr, y_tr)
    test_dataset = TensorDataset(X_te, y_te)
    train_loader = DataLoader(train_dataset, batch_size=batch_size, shuffle=True)
    test_loader = DataLoader(test_dataset, batch_size=batch_size, shuffle=False)

    # Model
    model = RecurrentNetwork(
        vocab_size=vocab_size,
        embed_dim=embed_dim,
        hidden_dim=hidden_dim,
        rnn_type=rnn_type
    ).to(device)

    # Kryterium i optymalizator
    criterion = nn.BCELoss()
    optimizer = optim.Adam(model.parameters(), lr=lr)

    # Trening
    loss_hist = train_model(model, train_loader, criterion, optimizer, epochs)

    # Ewaluacja

```

```

train_acc = evaluate_model(model, train_loader)
test_acc = evaluate_model(model, test_loader)

return {'loss': loss_hist, 'train_acc': train_acc, 'test_acc': test_acc,

```

```

In [35]: # Eksperyment 1: Porównanie RNN vs LSTM
# Badamy wpływ typu warstwy rekurencyjnej na wyniki klasyfikacji

rnn_types = ['RNN', 'LSTM']
results_exp1 = {}

print("---- Eksperyment 1: RNN vs LSTM ----\n")

for rnn_type in rnn_types:
    print(f"Training {rnn_type}...")
    result = run_experiment(
        X_train, y_train, X_test, y_test,
        vocab_size=10000,
        embed_dim=64,
        hidden_dim=64,
        rnn_type=rnn_type,
        max_len=100,
        subset_size=5000,
        epochs=10
    )
    results_exp1[rnn_type] = result
    print(f"{rnn_type} Train Acc: {result['train_acc']:.4f}, Test Acc: {result['test_acc']:.4f}")

# Wizualizacja
plt.figure(figsize=(12, 5))

plt.subplot(1, 2, 1)
for name, res in results_exp1.items():
    plt.plot(res['loss'], label=name)
plt.title("Krzywe uczenia (Loss) - RNN vs LSTM")
plt.xlabel("Epoka")
plt.ylabel("Loss")
plt.ylim(bottom=0)
plt.legend()

plt.subplot(1, 2, 2)
names = list(results_exp1.keys())
x = np.arange(len(names))
width = 0.35
train_accs = [results_exp1[n]['train_acc'] for n in names]
test_accs = [results_exp1[n]['test_acc'] for n in names]
plt.bar(x - width/2, train_accs, width, label='Train', color='steelblue')
plt.bar(x + width/2, test_accs, width, label='Test', color='coral')
plt.xticks(x, names)
plt.title("Dokładność Train vs Test")
plt.ylabel("Accuracy")
plt.ylim(0, 1)
plt.legend()

```

```
plt.tight_layout()
plt.show()
```

--- Eksperyment 1: RNN vs LSTM ---

Training RNN...

Epoch 1/10, Loss: 0.6899  
Epoch 1/10, Loss: 0.6899  
Epoch 2/10, Loss: 0.6606  
Epoch 2/10, Loss: 0.6606  
Epoch 3/10, Loss: 0.6224  
Epoch 3/10, Loss: 0.6224  
Epoch 4/10, Loss: 0.5777  
Epoch 4/10, Loss: 0.5777  
Epoch 5/10, Loss: 0.5391  
Epoch 5/10, Loss: 0.5391  
Epoch 6/10, Loss: 0.4640  
Epoch 6/10, Loss: 0.4640  
Epoch 7/10, Loss: 0.4257  
Epoch 7/10, Loss: 0.4257  
Epoch 8/10, Loss: 0.3826  
Epoch 8/10, Loss: 0.3826  
Epoch 9/10, Loss: 0.3150  
Epoch 9/10, Loss: 0.3150  
Epoch 10/10, Loss: 0.2824  
Epoch 10/10, Loss: 0.2824  
RNN Train Acc: 0.9234, Test Acc: 0.7026

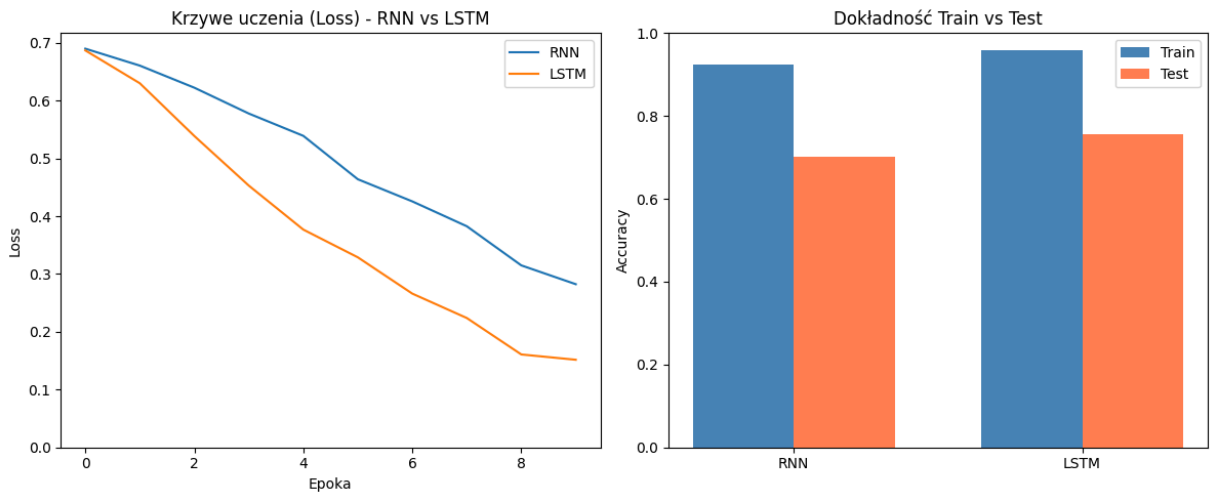
Training LSTM...

RNN Train Acc: 0.9234, Test Acc: 0.7026

Training LSTM...

Epoch 1/10, Loss: 0.6869  
Epoch 1/10, Loss: 0.6869  
Epoch 2/10, Loss: 0.6300  
Epoch 2/10, Loss: 0.6300  
Epoch 3/10, Loss: 0.5388  
Epoch 3/10, Loss: 0.5388  
Epoch 4/10, Loss: 0.4530  
Epoch 4/10, Loss: 0.4530  
Epoch 5/10, Loss: 0.3769  
Epoch 5/10, Loss: 0.3769  
Epoch 6/10, Loss: 0.3289  
Epoch 6/10, Loss: 0.3289  
Epoch 7/10, Loss: 0.2661  
Epoch 7/10, Loss: 0.2661  
Epoch 8/10, Loss: 0.2239  
Epoch 8/10, Loss: 0.2239  
Epoch 9/10, Loss: 0.1608  
Epoch 9/10, Loss: 0.1608  
Epoch 10/10, Loss: 0.1517  
Epoch 10/10, Loss: 0.1517  
LSTM Train Acc: 0.9592, Test Acc: 0.7554

LSTM Train Acc: 0.9592, Test Acc: 0.7554



## Wnioski - Eksperyment 1: RNN vs LSTM

- **RNN (Vanilla RNN)** ma problem z uczeniem długoterminowych zależności ze względu na zjawisko zanikającego gradientu (vanishing gradient). Dla długich sekwencji tekstowych informacje z początku recenzji mogą być "zapomniane".
- **LSTM (Long Short-Term Memory)** rozwiązuje ten problem poprzez mechanizm bramek (gates), które kontrolują przepływ informacji. Bramka zapominania, bramka wejściowa i bramka wyjściowa pozwalają sieci selektywnie pamiętać lub zapominać informacje.
- LSTM zazwyczaj osiąga lepszą dokładność dla zadań klasyfikacji tekstu, szczególnie gdy kontekst z dalszych części sekwencji jest istotny dla klasyfikacji.
- Wadą LSTM jest większa liczba parametrów i dłuższy czas treningu w porównaniu do prostego RNN.

```
In [36]: # Eksperyment 2: Wymiar warstwy rekurencyjnej
# Badamy wpływ rozmiaru warstwy ukrytej na wyniki

hidden_dims = [16, 32, 64, 128]
results_exp2 = {}

print("---- Eksperyment 2: Wymiar warstwy rekurencyjnej ----\n")

for h_dim in hidden_dims:
    print(f"Training LSTM with hidden_dim={h_dim}...")
    result = run_experiment(
        X_train, y_train, X_test, y_test,
        vocab_size=10000,
        embed_dim=64,
        hidden_dim=h_dim,
        rnn_type='LSTM',
        max_len=100,
        subset_size=5000,
        epochs=10
    )
    results_exp2[f'hidden={h_dim}'] = result
    print(f"Hidden dim {h_dim} Train Acc: {result['train_acc']:.4f}, Test Acc: {result['test_acc']:.4f}")
```

```

# Wizualizacja
plt.figure(figsize=(12, 5))

plt.subplot(1, 2, 1)
for name, res in results_exp2.items():
    plt.plot(res['loss'], label=name)
plt.title("Krzywe uczenia (Loss) - Wymiar warstwy ukrytej")
plt.xlabel("Epoka")
plt.ylabel("Loss")
plt.ylim(bottom=0)
plt.legend()

plt.subplot(1, 2, 2)
names = list(results_exp2.keys())
x = np.arange(len(names))
width = 0.35
train_accs = [results_exp2[n]['train_acc'] for n in names]
test_accs = [results_exp2[n]['test_acc'] for n in names]
plt.bar(x - width/2, train_accs, width, label='Train', color='steelblue')
plt.bar(x + width/2, test_accs, width, label='Test', color='coral')
plt.xticks(x, names, rotation=45)
plt.title("Dokładność Train vs Test")
plt.ylabel("Accuracy")
plt.ylim(0, 1)
plt.legend()

plt.tight_layout()
plt.show()

```



--- Eksperyment 2: Wymiar warstwy rekurencyjnej ---

Training LSTM with hidden\_dim=16...

Epoch 1/10, Loss: 0.6914  
Epoch 1/10, Loss: 0.6914  
Epoch 2/10, Loss: 0.6799  
Epoch 2/10, Loss: 0.6799  
Epoch 3/10, Loss: 0.6547  
Epoch 3/10, Loss: 0.6547  
Epoch 4/10, Loss: 0.5867  
Epoch 4/10, Loss: 0.5867  
Epoch 5/10, Loss: 0.4987  
Epoch 5/10, Loss: 0.4987  
Epoch 6/10, Loss: 0.4163  
Epoch 6/10, Loss: 0.4163  
Epoch 7/10, Loss: 0.3428  
Epoch 7/10, Loss: 0.3428  
Epoch 8/10, Loss: 0.2800  
Epoch 8/10, Loss: 0.2800  
Epoch 9/10, Loss: 0.2269  
Epoch 9/10, Loss: 0.2269  
Epoch 10/10, Loss: 0.1824  
Epoch 10/10, Loss: 0.1824  
Hidden dim 16 Train Acc: 0.9562, Test Acc: 0.7431

Training LSTM with hidden\_dim=32...

Hidden dim 16 Train Acc: 0.9562, Test Acc: 0.7431

Training LSTM with hidden\_dim=32...

Epoch 1/10, Loss: 0.6895  
Epoch 1/10, Loss: 0.6895  
Epoch 2/10, Loss: 0.6620  
Epoch 2/10, Loss: 0.6620  
Epoch 3/10, Loss: 0.5836  
Epoch 3/10, Loss: 0.5836  
Epoch 4/10, Loss: 0.4865  
Epoch 4/10, Loss: 0.4865  
Epoch 5/10, Loss: 0.4096  
Epoch 5/10, Loss: 0.4096  
Epoch 6/10, Loss: 0.3345  
Epoch 6/10, Loss: 0.3345  
Epoch 7/10, Loss: 0.2741  
Epoch 7/10, Loss: 0.2741  
Epoch 8/10, Loss: 0.2257  
Epoch 8/10, Loss: 0.2257  
Epoch 9/10, Loss: 0.1772  
Epoch 9/10, Loss: 0.1772  
Epoch 10/10, Loss: 0.1444  
Epoch 10/10, Loss: 0.1444  
Hidden dim 32 Train Acc: 0.9660, Test Acc: 0.7656

Training LSTM with hidden\_dim=64...

Hidden dim 32 Train Acc: 0.9660, Test Acc: 0.7656

Training LSTM with hidden\_dim=64...

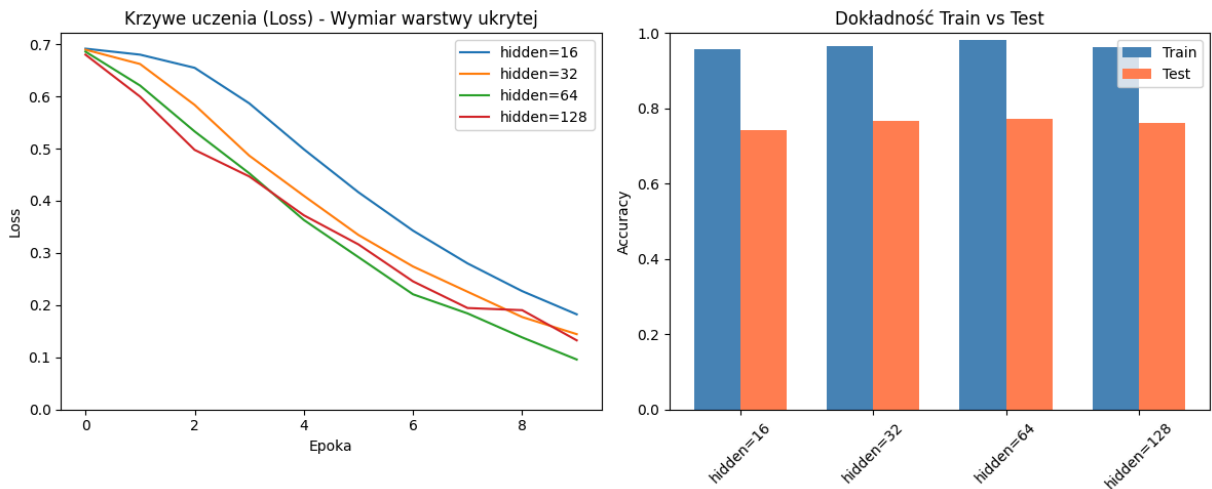
Epoch 1/10, Loss: 0.6857

Epoch 1/10, Loss: 0.6857  
Epoch 2/10, Loss: 0.6207  
Epoch 2/10, Loss: 0.6207  
Epoch 3/10, Loss: 0.5328  
Epoch 3/10, Loss: 0.5328  
Epoch 4/10, Loss: 0.4527  
Epoch 4/10, Loss: 0.4527  
Epoch 5/10, Loss: 0.3632  
Epoch 5/10, Loss: 0.3632  
Epoch 6/10, Loss: 0.2920  
Epoch 6/10, Loss: 0.2920  
Epoch 7/10, Loss: 0.2208  
Epoch 7/10, Loss: 0.2208  
Epoch 8/10, Loss: 0.1842  
Epoch 8/10, Loss: 0.1842  
Epoch 9/10, Loss: 0.1382  
Epoch 9/10, Loss: 0.1382  
Epoch 10/10, Loss: 0.0958  
Epoch 10/10, Loss: 0.0958  
Hidden dim 64 Train Acc: 0.9822, Test Acc: 0.7716

Training LSTM with hidden\_dim=128...  
Hidden dim 64 Train Acc: 0.9822, Test Acc: 0.7716

Training LSTM with hidden\_dim=128...  
Epoch 1/10, Loss: 0.6799  
Epoch 1/10, Loss: 0.6799  
Epoch 2/10, Loss: 0.5995  
Epoch 2/10, Loss: 0.5995  
Epoch 3/10, Loss: 0.4975  
Epoch 3/10, Loss: 0.4975  
Epoch 4/10, Loss: 0.4466  
Epoch 4/10, Loss: 0.4466  
Epoch 5/10, Loss: 0.3722  
Epoch 5/10, Loss: 0.3722  
Epoch 6/10, Loss: 0.3164  
Epoch 6/10, Loss: 0.3164  
Epoch 7/10, Loss: 0.2456  
Epoch 7/10, Loss: 0.2456  
Epoch 8/10, Loss: 0.1945  
Epoch 8/10, Loss: 0.1945  
Epoch 9/10, Loss: 0.1904  
Epoch 9/10, Loss: 0.1904  
Epoch 10/10, Loss: 0.1325  
Epoch 10/10, Loss: 0.1325  
Hidden dim 128 Train Acc: 0.9620, Test Acc: 0.7613

Hidden dim 128 Train Acc: 0.9620, Test Acc: 0.7613



## Wnioski - Eksperyment 2: Wymiar warstwy rekurencyjnej

- **Mały wymiar (16, 32)** może być niewystarczający do zakodowania wszystkich istotnych informacji z tekstu. Sieć ma ograniczoną "pojemność" do reprezentowania złożonych wzorców językowych.
- **Większy wymiar (64, 128)** pozwala na bardziej ekspresywną reprezentację, co zazwyczaj przekłada się na lepszą dokładność klasyfikacji.
- **Zbyt duży wymiar** może prowadzić do overfittingu (szczególnie przy małej ilości danych treningowych) oraz znacznie wydłuża czas treningu.
- Optymalny wymiar warstwy ukrytej to kompromis między zdolnością reprezentacji a ryzykiem overfittingu i kosztami obliczeniowymi.

```
In [37]: # Eksperyment 3: Wpływ przycinania sekwencji do niepełnej długości
# Porównujemy różne długości sekwencji: 10, 20, 50, 100, pełna długość

# Najpierw wyznaczamy maksymalną długość w zbiorze
max_length_train = max(len(seq) for seq in X_train)
max_length_test = max(len(seq) for seq in X_test)
max_length = max(max_length_train, max_length_test)
print(f"Maksymalna długość sekwencji w danych: {max_length}")

sequence_lengths = [10, 20, 50, 100, 200, None] # None = pełna długość
results_exp3 = {}

print("\n--- Eksperyment 3: Wpływ przycinania sekwencji ---\n")

for seq_len in sequence_lengths:
    name = f"max_len={seq_len}" if seq_len else f"max_len=pełna ({max_length})"
    print(f"Training LSTM with {name}...")

    result = run_experiment(
        X_train, y_train, X_test, y_test,
        vocab_size=10000,
        embed_dim=64,
        hidden_dim=64,
        rnn_type='LSTM',
```

```

        max_len=seq_len,
        subset_size=5000,
        epochs=10
    )
    results_exp3[name] = result
    print(f"{name} Train Acc: {result['train_acc']:.4f}, Test Acc: {result['

# Wizualizacja
plt.figure(figsize=(14, 5))

plt.subplot(1, 2, 1)
for name, res in results_exp3.items():
    plt.plot(res['loss'], label=name)
plt.title("Krzywe uczenia (Loss) – Długość sekwencji")
plt.xlabel("Epoka")
plt.ylabel("Loss")
plt.ylim(bottom=0)
plt.legend()

plt.subplot(1, 2, 2)
names = list(results_exp3.keys())
x = np.arange(len(names))
width = 0.35
train_accs = [results_exp3[n]['train_acc'] for n in names]
test_accs = [results_exp3[n]['test_acc'] for n in names]
plt.bar(x - width/2, train_accs, width, label='Train', color='steelblue')
plt.bar(x + width/2, test_accs, width, label='Test', color='coral')
plt.xticks(x, [n.replace('max_len=', '') for n in names], rotation=45, ha='r')
plt.title("Dokładność Train vs Test")
plt.ylabel("Accuracy")
plt.ylim(0, 1)
plt.legend()

plt.tight_layout()
plt.show()

```

Maksymalna długość sekwencji w danych: 2494

--- Eksperyment 3: Wpływ przycinania sekwencji ---

Training LSTM with max\_len=10...

Epoch 1/10, Loss: 0.6863  
Epoch 1/10, Loss: 0.6863  
Epoch 2/10, Loss: 0.6407  
Epoch 2/10, Loss: 0.6407  
Epoch 3/10, Loss: 0.5681  
Epoch 3/10, Loss: 0.5681  
Epoch 4/10, Loss: 0.4949  
Epoch 4/10, Loss: 0.4949  
Epoch 5/10, Loss: 0.4252  
Epoch 5/10, Loss: 0.4252  
Epoch 6/10, Loss: 0.3573  
Epoch 6/10, Loss: 0.3573  
Epoch 7/10, Loss: 0.2809  
Epoch 7/10, Loss: 0.2809  
Epoch 8/10, Loss: 0.2155  
Epoch 8/10, Loss: 0.2155  
Epoch 9/10, Loss: 0.1527  
Epoch 9/10, Loss: 0.1527  
Epoch 10/10, Loss: 0.1153  
Epoch 10/10, Loss: 0.1153  
max\_len=10 Train Acc: 0.9786, Test Acc: 0.6488

Training LSTM with max\_len=20...

max\_len=10 Train Acc: 0.9786, Test Acc: 0.6488

Training LSTM with max\_len=20...

Epoch 1/10, Loss: 0.6869  
Epoch 1/10, Loss: 0.6869  
Epoch 2/10, Loss: 0.6368  
Epoch 2/10, Loss: 0.6368  
Epoch 3/10, Loss: 0.5482  
Epoch 3/10, Loss: 0.5482  
Epoch 4/10, Loss: 0.4689  
Epoch 4/10, Loss: 0.4689  
Epoch 5/10, Loss: 0.3934  
Epoch 5/10, Loss: 0.3934  
Epoch 6/10, Loss: 0.3319  
Epoch 6/10, Loss: 0.3319  
Epoch 7/10, Loss: 0.2594  
Epoch 7/10, Loss: 0.2594  
Epoch 8/10, Loss: 0.2060  
Epoch 8/10, Loss: 0.2060  
Epoch 9/10, Loss: 0.1483  
Epoch 9/10, Loss: 0.1483  
Epoch 10/10, Loss: 0.1021  
Epoch 10/10, Loss: 0.1021  
max\_len=20 Train Acc: 0.9798, Test Acc: 0.6925

Training LSTM with max\_len=50...

max\_len=20 Train Acc: 0.9798, Test Acc: 0.6925

Training LSTM with max\_len=50...

Epoch 1/10, Loss: 0.6879

Epoch 1/10, Loss: 0.6879

Epoch 2/10, Loss: 0.6383

Epoch 2/10, Loss: 0.6383

Epoch 3/10, Loss: 0.5447

Epoch 3/10, Loss: 0.5447

Epoch 4/10, Loss: 0.4552

Epoch 4/10, Loss: 0.4552

Epoch 5/10, Loss: 0.3813

Epoch 5/10, Loss: 0.3813

Epoch 6/10, Loss: 0.3330

Epoch 6/10, Loss: 0.3330

Epoch 7/10, Loss: 0.2725

Epoch 7/10, Loss: 0.2725

Epoch 8/10, Loss: 0.2124

Epoch 8/10, Loss: 0.2124

Epoch 9/10, Loss: 0.1604

Epoch 9/10, Loss: 0.1604

Epoch 10/10, Loss: 0.1180

Epoch 10/10, Loss: 0.1180

max\_len=50 Train Acc: 0.9744, Test Acc: 0.7393

Training LSTM with max\_len=100...

max\_len=50 Train Acc: 0.9744, Test Acc: 0.7393

Training LSTM with max\_len=100...

Epoch 1/10, Loss: 0.6853

Epoch 1/10, Loss: 0.6853

Epoch 2/10, Loss: 0.6294

Epoch 2/10, Loss: 0.6294

Epoch 3/10, Loss: 0.5348

Epoch 3/10, Loss: 0.5348

Epoch 4/10, Loss: 0.4657

Epoch 4/10, Loss: 0.4657

Epoch 5/10, Loss: 0.3838

Epoch 5/10, Loss: 0.3838

Epoch 6/10, Loss: 0.3074

Epoch 6/10, Loss: 0.3074

Epoch 7/10, Loss: 0.2563

Epoch 7/10, Loss: 0.2563

Epoch 8/10, Loss: 0.1971

Epoch 8/10, Loss: 0.1971

Epoch 9/10, Loss: 0.1823

Epoch 9/10, Loss: 0.1823

Epoch 10/10, Loss: 0.1253

Epoch 10/10, Loss: 0.1253

max\_len=100 Train Acc: 0.9702, Test Acc: 0.7735

Training LSTM with max\_len=200...

max\_len=100 Train Acc: 0.9702, Test Acc: 0.7735

Training LSTM with max\_len=200...

Epoch 1/10, Loss: 0.6880

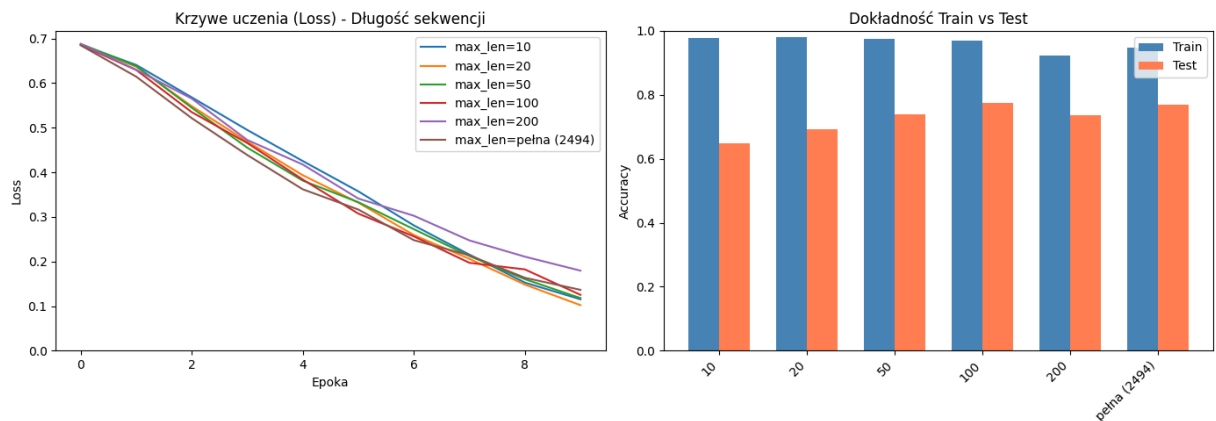
Epoch 1/10, Loss: 0.6880

Epoch 2/10, Loss: 0.6299

Epoch 2/10, Loss: 0.6299  
Epoch 3/10, Loss: 0.5653  
Epoch 3/10, Loss: 0.5653  
Epoch 4/10, Loss: 0.4725  
Epoch 4/10, Loss: 0.4725  
Epoch 5/10, Loss: 0.4174  
Epoch 5/10, Loss: 0.4174  
Epoch 6/10, Loss: 0.3411  
Epoch 6/10, Loss: 0.3411  
Epoch 7/10, Loss: 0.3026  
Epoch 7/10, Loss: 0.3026  
Epoch 8/10, Loss: 0.2473  
Epoch 8/10, Loss: 0.2473  
Epoch 9/10, Loss: 0.2108  
Epoch 9/10, Loss: 0.2108  
Epoch 10/10, Loss: 0.1795  
Epoch 10/10, Loss: 0.1795  
max\_len=200 Train Acc: 0.9226, Test Acc: 0.7353

Training LSTM with max\_len=peřna (2494)...  
max\_len=200 Train Acc: 0.9226, Test Acc: 0.7353

Training LSTM with max\_len=peřna (2494)...  
Epoch 1/10, Loss: 0.6847  
Epoch 1/10, Loss: 0.6847  
Epoch 2/10, Loss: 0.6145  
Epoch 2/10, Loss: 0.6145  
Epoch 3/10, Loss: 0.5214  
Epoch 3/10, Loss: 0.5214  
Epoch 4/10, Loss: 0.4387  
Epoch 4/10, Loss: 0.4387  
Epoch 5/10, Loss: 0.3619  
Epoch 5/10, Loss: 0.3619  
Epoch 6/10, Loss: 0.3165  
Epoch 6/10, Loss: 0.3165  
Epoch 7/10, Loss: 0.2479  
Epoch 7/10, Loss: 0.2479  
Epoch 8/10, Loss: 0.2139  
Epoch 8/10, Loss: 0.2139  
Epoch 9/10, Loss: 0.1635  
Epoch 9/10, Loss: 0.1635  
Epoch 10/10, Loss: 0.1365  
Epoch 10/10, Loss: 0.1365  
max\_len=peřna (2494) Train Acc: 0.9462, Test Acc: 0.7680  
  
max\_len=peřna (2494) Train Acc: 0.9462, Test Acc: 0.7680



## Wnioski - Eksperyment 3: Wpływ przycinania sekwencji

- **Bardzo krótkie sekwencje (10, 20 słów)** tracą większość informacji z recenzji. Dla klasyfikacji sentymentu często najważniejsze słowa kluczowe (np. "świetny", "okropny") mogą występować w różnych miejscach tekstu, więc przycinanie do tak krótkiej długości drastycznie obniża dokładność.
- **Umiarkowana długość (50-100 słów)** często stanowi dobry kompromis między wydajnością a dokładnością. Wiele recenzji zawiera kluczowe informacje o sentymencie w pierwszych/ostatnich zdaniach.
- **Pełna długość sekwencji** teoretycznie zachowuje całą informację, ale:
  - Znacznie wydłuża czas treningu (więcej kroków RNN)
  - Może być podatna na problem zanikającego gradientu (dla vanilla RNN)
  - Wymaga więcej pamięci GPU/RAM
  - Padowanie krótszych sekwencji do maksymalnej długości wprowadza dużo "szumu" (zer)
- **Praktyczna rekomendacja:** Dla IMDB często używa się długości 100-256 słów jako kompromisu między dokładnością a wydajnością. Można też eksperymentować z przycinaniem od początku lub od końca sekwencji.

```
In [38]: # Podsumowanie wszystkich eksperymentów
print("=" * 60)
print("PODSUMOWANIE WYNIKÓW (Train Acc / Test Acc)")
print("=" * 60)

print("\n--- Eksperyment 1: RNN vs LSTM ---")
for name, res in results_exp1.items():
    print(f" {name}: Train={res['train_acc']:.4f}, Test={res['test_acc']:.4f}")

print("\n--- Eksperyment 2: Wymiar warstwy rekurencyjnej ---")
for name, res in results_exp2.items():
    print(f" {name}: Train={res['train_acc']:.4f}, Test={res['test_acc']:.4f}")

print("\n--- Eksperyment 3: Długość sekwencji ---")
for name, res in results_exp3.items():
    print(f" {name}: Train={res['train_acc']:.4f}, Test={res['test_acc']:.4f}")
```



```

# Wizualizacja zbiorcza – Train vs Test dla każdego eksperymentu
fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(16, 5))

# Eksperyment 1
ax1 = axes[0]
names1 = list(results_exp1.keys())
x1 = np.arange(len(names1))
width = 0.35
train_accs1 = [results_exp1[n]['train_acc'] for n in names1]
test_accs1 = [results_exp1[n]['test_acc'] for n in names1]
ax1.bar(x1 - width/2, train_accs1, width, label='Train', color='steelblue')
ax1.bar(x1 + width/2, test_accs1, width, label='Test', color='coral')
ax1.set_xticks(x1)
ax1.set_xticklabels(names1)
ax1.set_title("Exp 1: RNN vs LSTM")
ax1.set_ylabel("Accuracy")
ax1.set_ylim(0, 1)
ax1.legend()

# Eksperyment 2
ax2 = axes[1]
names2 = list(results_exp2.keys())
x2 = np.arange(len(names2))
train_accs2 = [results_exp2[n]['train_acc'] for n in names2]
test_accs2 = [results_exp2[n]['test_acc'] for n in names2]
ax2.bar(x2 - width/2, train_accs2, width, label='Train', color='steelblue')
ax2.bar(x2 + width/2, test_accs2, width, label='Test', color='coral')
ax2.set_xticks(x2)
ax2.set_xticklabels([n.replace('hidden=', '') for n in names2])
ax2.set_title("Exp 2: Wymiar warstwy ukrytej")
ax2.set_ylabel("Accuracy")
ax2.set_ylim(0, 1)
ax2.legend()

# Eksperyment 3
ax3 = axes[2]
names3 = list(results_exp3.keys())
x3 = np.arange(len(names3))
train_accs3 = [results_exp3[n]['train_acc'] for n in names3]
test_accs3 = [results_exp3[n]['test_acc'] for n in names3]
ax3.bar(x3 - width/2, train_accs3, width, label='Train', color='steelblue')
ax3.bar(x3 + width/2, test_accs3, width, label='Test', color='coral')
ax3.set_xticks(x3)
ax3.set_xticklabels([n.replace('max_len=', '').replace('pełna ', '') for n in names3])
ax3.set_title("Exp 3: Długość sekwencji")
ax3.set_ylabel("Accuracy")
ax3.set_ylim(0, 1)
ax3.legend()

plt.tight_layout()
plt.show()

```

## PODSUMOWANIE WYNIKÓW (Train Acc / Test Acc)

### --- Eksperyment 1: RNN vs LSTM ---

RNN: Train=0.9234, Test=0.7026

LSTM: Train=0.9592, Test=0.7554

### --- Eksperyment 2: Wymiar warstwy rekurencyjnej ---

hidden=16: Train=0.9562, Test=0.7431

hidden=32: Train=0.9660, Test=0.7656

hidden=64: Train=0.9822, Test=0.7716

hidden=128: Train=0.9620, Test=0.7613

### --- Eksperyment 3: Długość sekwencji ---

max\_len=10: Train=0.9786, Test=0.6488

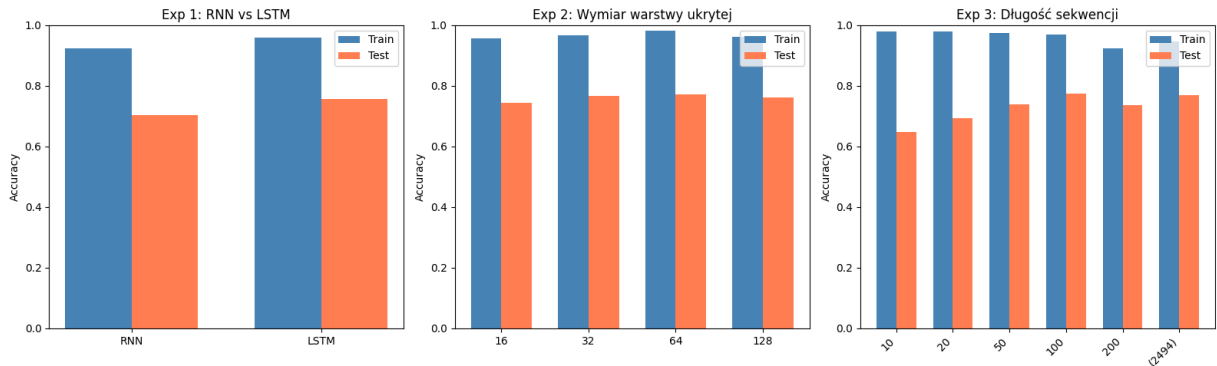
max\_len=20: Train=0.9798, Test=0.6925

max\_len=50: Train=0.9744, Test=0.7393

max\_len=100: Train=0.9702, Test=0.7735

max\_len=200: Train=0.9226, Test=0.7353

max\_len=pełna (2494): Train=0.9462, Test=0.7680



## Wnioski końcowe

### Sieci rekurencyjne dla danych sekwencyjnych:

#### 1. Typ warstwy rekurencyjnej (RNN vs LSTM):

- LSTM zazwyczaj przewyższa vanilla RNN dla zadań klasyfikacji tekstu
- LSTM lepiej radzi sobie z długoterminowymi zależnościami dzięki mechanizmowi bramek
- Koszt: LSTM ma ~4x więcej parametrów niż RNN o tym samym wymiarze

#### 2. Wymiar warstwy rekurencyjnej:

- Większy wymiar = większa zdolność reprezentacji, ale ryzyko overfittingu
- Dla zbioru IMDB, wymiar 64-128 zazwyczaj daje dobre wyniki
- Należy dostosować do rozmiaru zbioru danych i złożoności zadania

#### 3. Długość sekwencji:

- Zbyt krótkie sekwencje tracą kluczowe informacje
- Zbyt długie sekwencje są kosztowne obliczeniowo i mogą wprowadzać szum

- Optymalny kompromis to zwykle 100-200 słów dla recenzji filmowych

**Praktyczne wskazówki:**

- Warstwa Embedding konwertuje słowa na wektory i może być trenowana end-to-end
- Padowanie jest niezbędne do batchowania sekwencji o różnych długościach
- Dla lepszych wyników można użyć dwukierunkowych LSTM (BiLSTM) lub stackowanych warstw