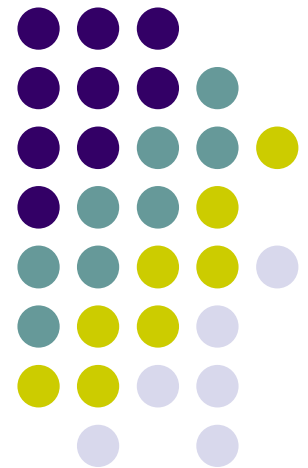


wykład

Indeksy



Plan wykładu



- Problematyka indeksowania
- Podział indeksów i ich charakterystyka
 - indeks podstawowy, zgrupowany, wtórny
 - indeks rzadki, gęsty
- Indeks wielopoziomowy statyczny (ISAM)
- Indeks wielopoziomowy dynamiczny (B+-drzewo)
- Algorytm wstawiania danych do indeksu B+-drzewo

wprowadzenie (1)



Problem:

- Dany jest plik zawierający uporządkowane lub nieuporządkowane rekordy danych
- W jaki sposób efektywnie zrealizować wyszukanie rekordu lub rekordów z zadanego zakresu wartości wybranego pola?

Rozwiązanie:

TAKI PLIK DODATKOWY NAZWA SIĘ INDEKSEM

- Utworzyć drugi plik, zdefiniowany na atrybucie wykorzystanym do specyfikacji kryterium poszukiwania
- Plik ten zawiera rekordy odpowiadające poszukiwanym wartościom pierwszych rekordów w poszczególnych blokach pliku danych
- Rekordy w dodatkowym pliku mają postać:

<pierwszy klucz w bloku, wskaźnik do bloku>
- Plik dodatkowy jest uporządkowany według wartości poszukiwanych

wprowadzenie (2)



Indeks - dodatkowa struktura fizyczna

Cel stosowania - przyspieszenie dostępu do danych

- Zakładane na pojedynczych atrybutach lub zbiorach atrybutów relacji
 - atrybuty te są nazywane indeksowymi **ATRYBUTY INDEKSOWE**
- Model fizyczny indeksu
 - uporządkowany plik rekordów indeksu (*ang. data entry*) o stałej długości
 - rekord indeksu zawiera dwa pola **BUDOWA INDEKSU**
 - klucz reprezentujący jedną z wartości występujących w atrybutach indeksowych relacji
 - wskaźnik do bloku danych zawierający krotkę, której atrybut indeksowy równy jest kluczowi

wprowadzenie (3)



OZNACZENIE REKORDU INDEKSU

Rekord indeksu - k^*

- zawiera dostateczną informację umożliwiającą wyszukanie (jednego lub więcej) rekordów danych o wartości klucza k

Pytanie:

PROJEKTOWANIE STRUKTURY INDEKSU

- w jaki sposób rekordy indeksu powinny być zorganizowane, aby efektywnie wspierać wyszukiwanie rekordów o danej wartości klucza?
- co powinien zawierać rekord indeksu?

1?

2?

rekordy indeksu



Typy rekordów indeksu:

1. Rekord indeksu k^* jest rekordem danych (o wartości klucza k)
2. Rekord indeksu jest parą $\langle k, \text{rid} \rangle$, gdzie rid jest identyfikatorem rekordu danych o wartości klucza k
3. Rekord indeksu jest parą $\langle k, \text{rid-list} \rangle$, gdzie rid-list jest listą identyfikatorów rekordów danych o wartości klucza k
4. Rekord indeksu jest parą $\langle k, \text{bitmapa} \rangle$, gdzie bitmapa jest wektorem 0 i 1 reprezentującym zbiór rekordów danych

Rekord indeksu k^* umożliwia wyszukanie rekordów danych o wartości klucza k



rodzaje indeksów

charakterystyka atrybutu indeksowego

Indeks podstawowy (primary index)

- założony na atrybucie porządkującym unikalnym

Indeks zgrupowany (clustering index)

- założony na atrybucie porządkującym nieunikalnym

Indeks wtórny (secondary index)

- założony na atrybucie nieporządkującym

1

wskazania do pliku danych

Indeks gęsty (dense)

- posiada rekord indeksu dla każdego rekordu indeksowanego pliku danych

Indeks rzadki (sparse)

- posiada rekordy tylko dla wybranych rekordów indeksowanego pliku danych

2

liczba poziomów

Indeks jednopoziomowe

- jeden plik indeksu dla jednego pliku danych

Indeks wielopoziomowe

- indeks do indeksu

3

indeks podstawowy



wskazania z rekordów indeksowych → do bloków danych

Rekord indeksowy indeksu podst.

wartość indeksowana	wskaźnik do bloku
Aaron, Ed	
Adams, John	
Alexander, Ed	
Allen, Troy	
Anderson, Zach	
Arnold, Mack	
...	
...	
Wong, James	
Wright, Pam	

pole sortujące unikalne

Aaron, Ed		
Abbot, Diane		
...		
Acosta, Marc		
Adams, John		
Adams, Robin		
...		
Akers, Jan		
Alexander, Ed		
Alfred, Bob		
...		
Allen, Sam		
Allen, Troy		
Anders, Keith		
...		
Anderson, Rob		
Wright, Pam		
Wyatt, Charles		
...		
Zimmer, Byron		

**BLOKI /pliki/
DANYCH**

Jest indeksem rzadkim ponieważ nie wszystkie rekordy pliku danych posiadają rekordy indeksowe

indeks zgrupowany

Rekord indeksowy indeksu zgrupowanego (dla wartości X) zawiera adres bloku danych, w którym znajduje się pierwszy rekord danych z wartością atrybutu indeksowego równą X

Rekord indeksowy ind. zgrupowanego



pole
porządkujące
nieunikalne

Pierwszy rekord danych

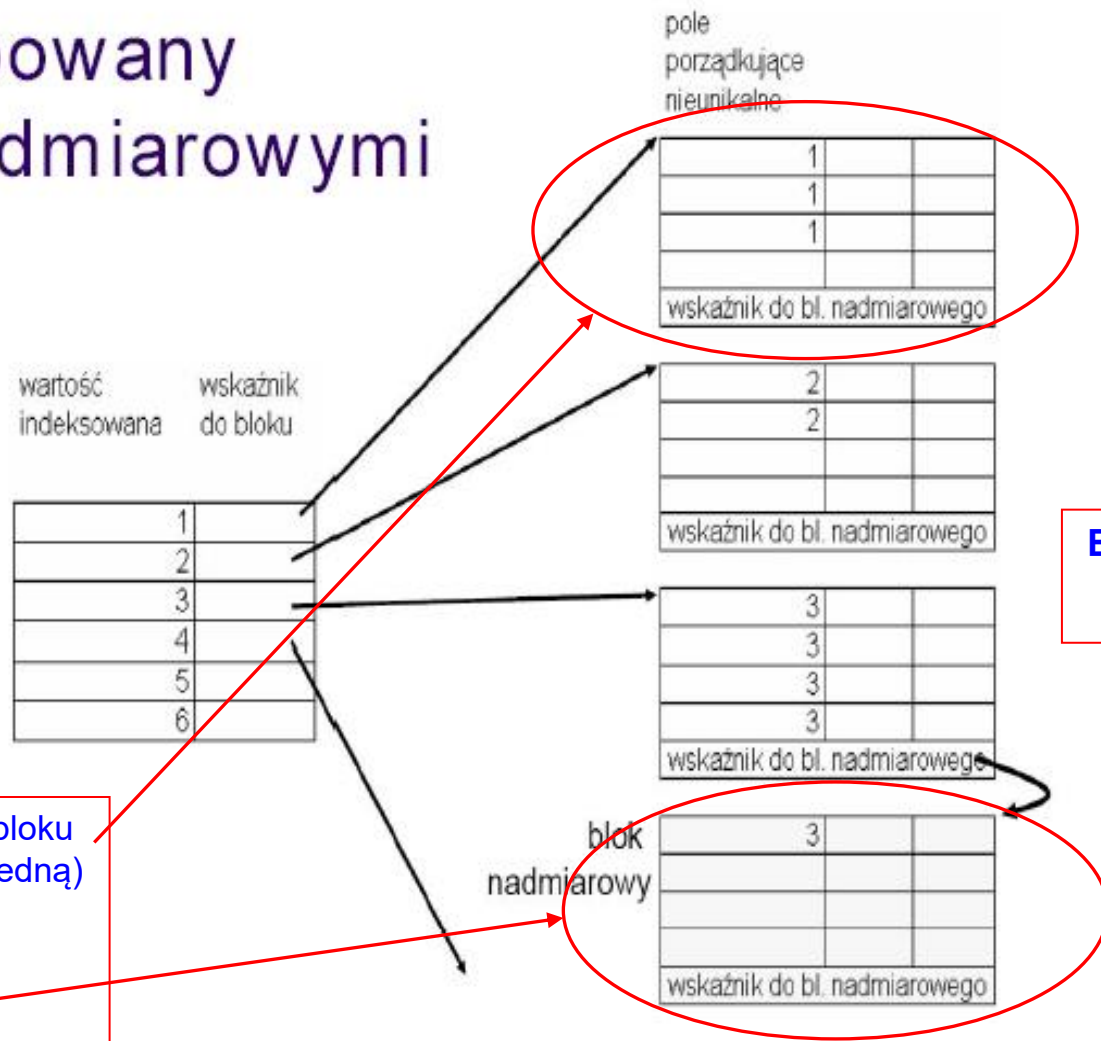
**BLOKI /pliki/
DANYCH**



Jest indeksem rzadkim ponieważ nie wszystkie rekordy pliku danych posiadają rekordy indeksowe

Problemy z wstawianiem rekordów → porządek rekordów po wstawieniu musi być zachowany

indeks zgrupowany z blokami nadmiarowymi



**BLOKI /pliki/
DANYCH**

1. Rezerwowanie całego bloku na rekordy z tą samą (jedną) wartością;
2. Zastosowanie bloków nadmiarowych;

indeks wtórny GĘSTY



**BLOKI /pliki/
DANYCH**

indeks o kluczu złożonym

ZAPYTANIA PUNKTOWE



Klucz złożony Indeks<wiek; pensja>

1

32; 4300
35; 4500
42; 5000
46; 5800

Klucz Indeks<wiek>

3

32
35
42
46

Klucz złożony Indeks<pensja; wiek>

2

4300; 32
4500; 35
5000; 42
5800; 46

Indeks<pensja> **Klucz**

4

4300
4500
5000
5800

nazwisko	wiek	pensja
Turecki	35	4500
Wolski	46	5800
Biedronka	42	5000
Maślak	32	4300

Atrybut wiodący – problem wyszukiwania

Indeksy na kluczach złożonych – wyszukiwanie rekordów spełniających warunki równościowe

Klucz indeksu może zawierać kilka atrybutów → tzw. KLUCZ ZŁOŻONY

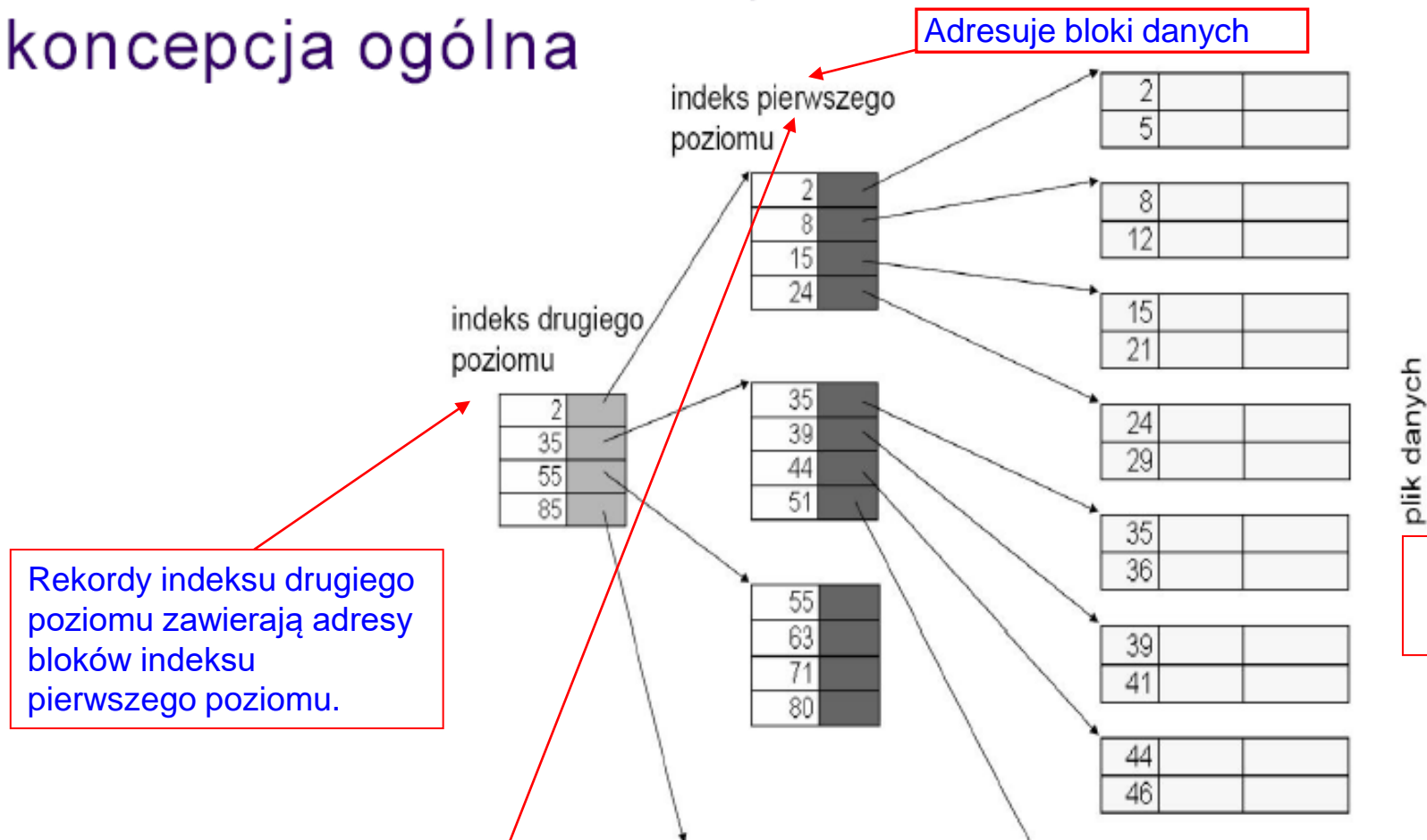
indeks wielopoziomowy



- 1 • **ISAM** - Indexed Sequential Access Method (IBM)
 - poziom pierwszy:
 - indeks cylindrów <klucz, adres indeksu ścieżki>
 - poziom drugi:
 - indeks ścieżki <klucz, adres ścieżki>
 - struktura silnie związana ze sprzętem
- 2 • **VSAM** - Virtual Sequential Access Method
 - rozwinięcie ISAM
 - niezależne od sprzętu

Indeks wielopoziomowy → którego efektywność przeszukiwania jest większa. Jedną z fundamentalnych koncepcji indeksu wielopoziomowego jest struktura ISAM (ang. Indexed Sequential Access Method), oryginalnie opracowana przez IBM.

indeks wielopoziomowy – koncepcja ogólna



Rekordy indeksu drugiego poziomu zawierają adresy bloków indeksu pierwszego poziomu.

Każdy rekord tego indeksu zawiera **wartość pola indeksowego i adres bloku danych**, w którym ta wartość się znajduje. Rekordy tego indeksu są przechowywane w pliku uporządkowanym zgodnie z wartościami klucza indeksu pierwszego poziomu.



Indeks statyczny

- modyfikowanie zawartości pliku degeneruje indeks - spada efektywność dostępu do danych
- powstają puste obszary po usuniętych rekordach
- wstawiane rekordy trafiają do bloków nadmiarowych

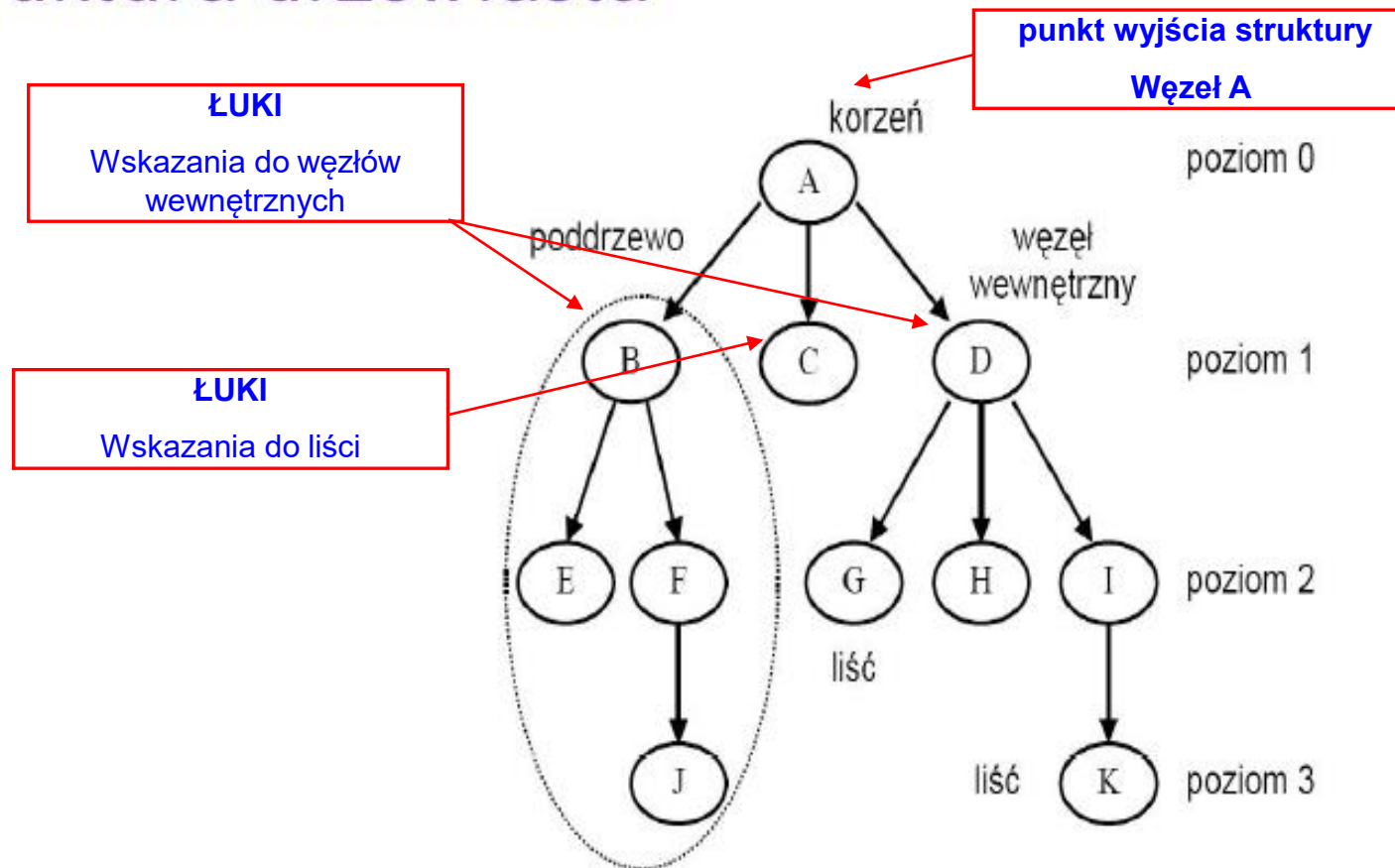
ISAM to indeks statyczny: nie posiada zaawansowanych mechanizmów modyfikowania struktury w sytuacji zmodyfikowania zawartości indeksowanego pliku.

W konsekwencji indeks typu ISAM jest nieefektywny.

Rozwiązaniem tego problemu jest wprowadzenie indeksów dynamicznych.

Najpowszechniej stosowanymi indeksami dynamicznymi są indeksy drzewiaste, S - drzewa, B – drzewa oraz B⁺ drzewa.

struktura drzewiasta



Węzeł wewnętrzny posiada wskazania do innych węzłów. Liść nie posiada wskazań do innych węzłów. Jest więc elementem końcowym całej struktury. Przykładowy indeks ze slajdu składa się z 4 poziomów. Przy czym korzeń znajduje się na poziomie 0.

indeks B⁺-drzewo



Zrównoważona struktura drzewiasta

- wierzchołki wewnętrzne służą do wspomagania wyszukiwania
- wierzchołki liści zawierają rekordy indeksu ze wskaźnikami do rekordów danych

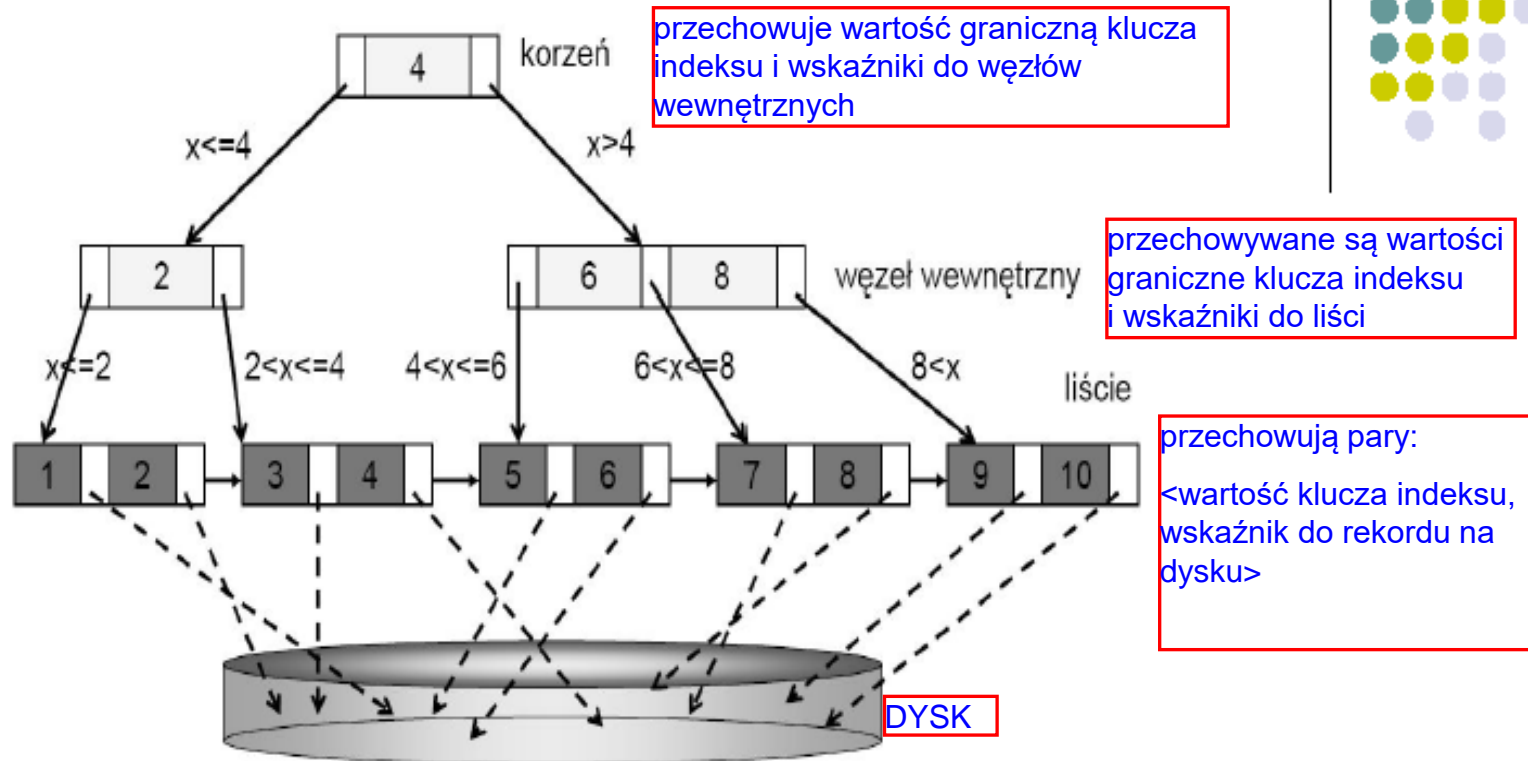
W celu zapewnienia odpowiedniej efektywności realizacji zapytań przedziałowych wierzchołki liści stanowią listę dwukierunkową

charakterystyka

- Operacje wstawiania i usuwania rekordów indeksu pozostawiają indeks zrównoważony
- Każdy wierzchołek jest wypełniony w co najmniej 50% (za wyjątkiem korzenia)
 - usuwanie rekordów może skutkować mniejszym wypełnieniem niż 50%
- Wyszukanie rekordu wymaga przejścia od korzenia do liścia
 - długość ścieżki od korzenia do dowolnego liścia nazywamy wysokością drzewa indeksu
- Indeks zrównoważony

indeks B⁺-drzewo

STRUKTURA TRZY - POZIOMOWA



W przykładzie wartością graniczną jest 4, a korzeń zawiera wskaźniki do dwóch węzłów wewnętrznych.

węzeł wewnętrzny (1)



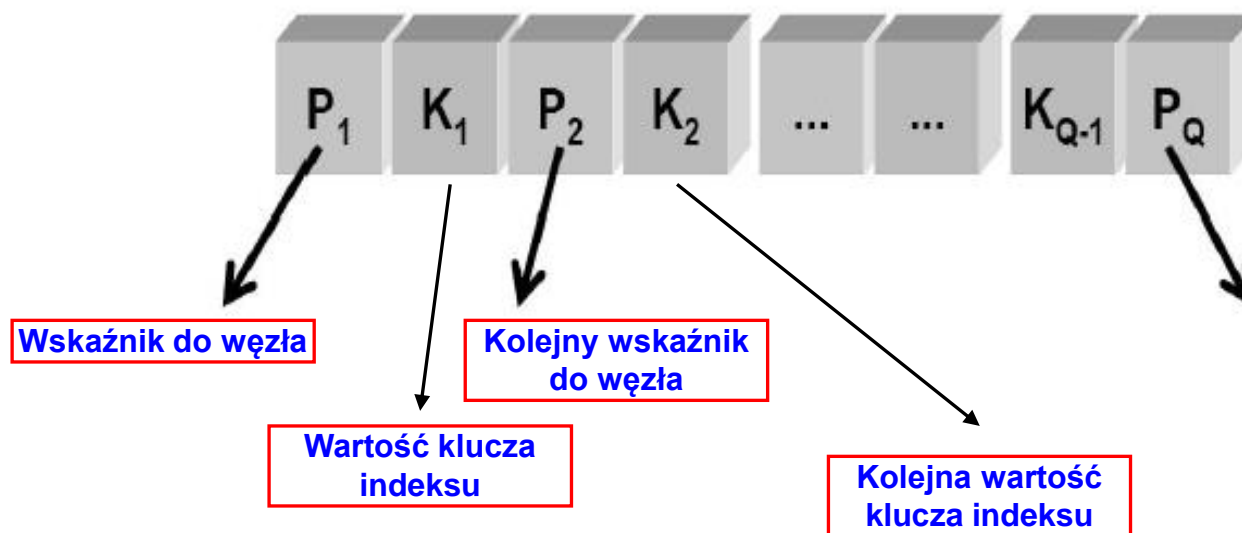
- Struktura węzła wewnętrznego indeksu B⁺-drzewo rzędu p jest następująca

1 Węzeł wewnętrzny ma postać:

$\langle P_1, K_1, P_2, \dots, P_{Q-1}, K_{Q-1}, P_Q \rangle$

2 Dla każdego wierzchołka wewnętrznego zachodzi

$K_1 < K_2 < \dots < K_{Q-1}$



Wartości klucza indeksowego są uporządkowane (od lewej – wartości najmniejsze do prawej
Wartości największe).

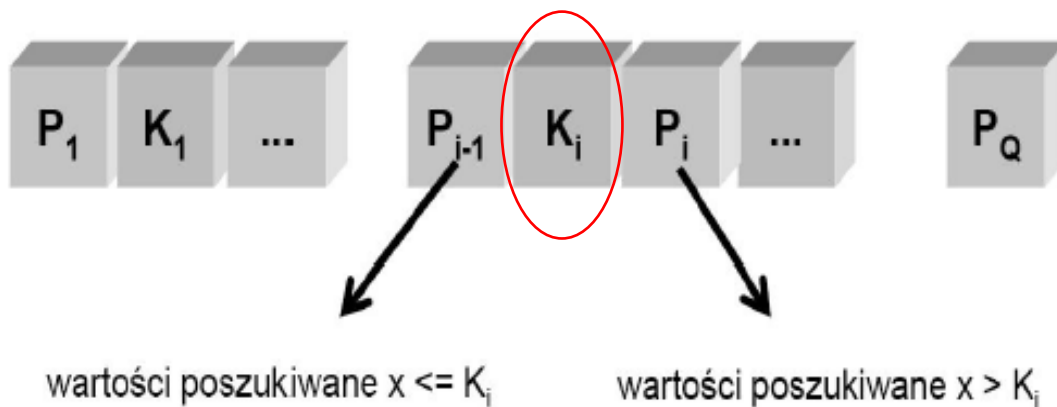
węzeł wewnętrzny (2)



3

Dla danej wartości K_i klucza w węźle zewnętrznym

- lewy wskaźnik prowadzi do poddrzewa zawierającego wartości poszukiwane $\leq K_i$
- prawy wskaźnik prowadzi do poddrzewa zawierającego wartości poszukiwane $> K_i$



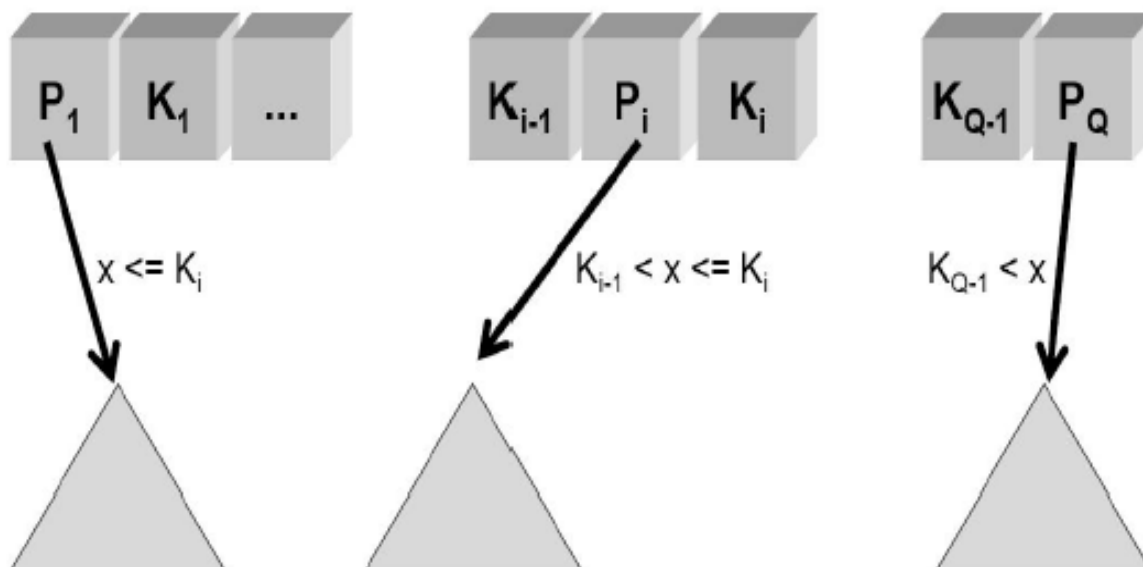
Dla danej wartości K_i :
lewy wskaźnik $\leq K_i$
prawy wskaźnik $> K_i$

węzeł wewnętrzny (3)



- 4 Każdy wierzchołek wewnętrzny posiada co najwyżej p wskaźników do poddrzew
- 5 Każdy wierzchołek wewnętrzny, za wyjątkiem korzenia, posiada co najmniej $(p/2)$ wskaźników do poddrzew
 - korzeń posiada co najmniej 2 wskaźniki do poddrzew
- 6 Każdy wierzchołek wewnętrzny o Q wskaźnikach posiada $Q-1$ wartości kluczy

węzeł wewnętrzny (4)



Każdy wierzchołek wewnętrzny posiada co najwyżej p wskaźników do poddrzew

Każdy wierzchołek wewnętrzny, za wyjątkiem korzenia, posiada co najmniej $(p/2)$ wskaźników do poddrzew: korzeń posiada co najmniej 2 wskaźniki do poddrzew

Każdy wierzchołek wewnętrzny o Q wskaźnikach posiada $Q-1$ wartości kluczy

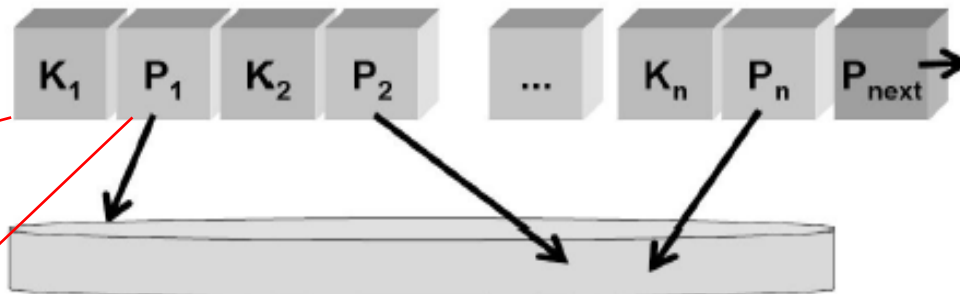
liść



Struktura liścia indeksu B⁺-drzewo rzędu p jest następująca:

1. Liść ma postać:
 $\langle \langle K_1, P_1 \rangle, \langle K_2, P_2 \rangle, \dots, \langle K_k, P_k \rangle, P_{\text{next}} \rangle$
2. Dla każdego wierzchołka liścia zachodzi:
 $K_1 < K_2 < \dots < K_k$

Zbiór par



wartość klucza indeksu

wskaźnik do rekordu (bloku danych) z tą wartością klucza

3. Każdy liść posiada co najmniej $\lceil p/2 \rceil$ wartości kluczy
4. Wszystkie liście znajdują się na tym samym poziomie (tej samej wysokości)

obliczanie rzędu indeksu



- Dane: rozmiar klucza V ; rozmiar wskaźnika do bloku P ; rozmiar bloku B ; liczba rekordów w indeksowanym pliku danych r ; liczba bloków pliku b
- Węzły wewnętrzne zawierają maksymalnie p wskaźników i $p-1$ kluczy
- Każdy z węzłów musi zmieścić się w pojedynczym bloku dyskowym – rząd B^+ -drzewa p jest największą liczbą całkowitą, dla której spełniona jest nierówność: $(p \cdot P) + [(p - 1) \cdot V] \leq B$ 1
- Minimalna wysokość indeksu rzadkiego: $h = \log_p b$ 2
- Minimalna wysokość indeksu gęstego: $h = \log_p r$ 3

Węzły wewnętrzne zawierają maksymalnie p wskaźników i $p-1$ kluczy. Ponieważ każdy węzeł musi się zmieścić w pojedynczym bloku dyskowym, więc rząd B^+ drzewa jest największą liczbą całkowitą spełniającą nierówność (oznaczoną symbolem 1).

obliczanie rzędu indeksu - przykład

Obliczanie rzędu B+ - drzewa

Rozmiar pliku: $r = 30\ 000$ rekordów

Rozmiar bloku: $B = 1024B$

Rozmiar rekordu: $R = 100$ bajtów

Rozmiar klucza: $V = 9$

Rozmiar wskaźnika: $P = 6$

Rekordy mają stałą długość i nie są dzielone między bloki

Indeks wtórny

Liczba rekordów w bloku:

$$\textcircled{1} \quad rbl = \left\lfloor \frac{B}{R} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1024}{100} \right\rfloor = 10$$

Liczba bloków danych:

$$\textcircled{2} \quad b = \left\lceil \frac{r}{rbl} \right\rceil = \left\lceil \frac{30000}{10} \right\rceil = 3000$$

Założenia dodatkowe:

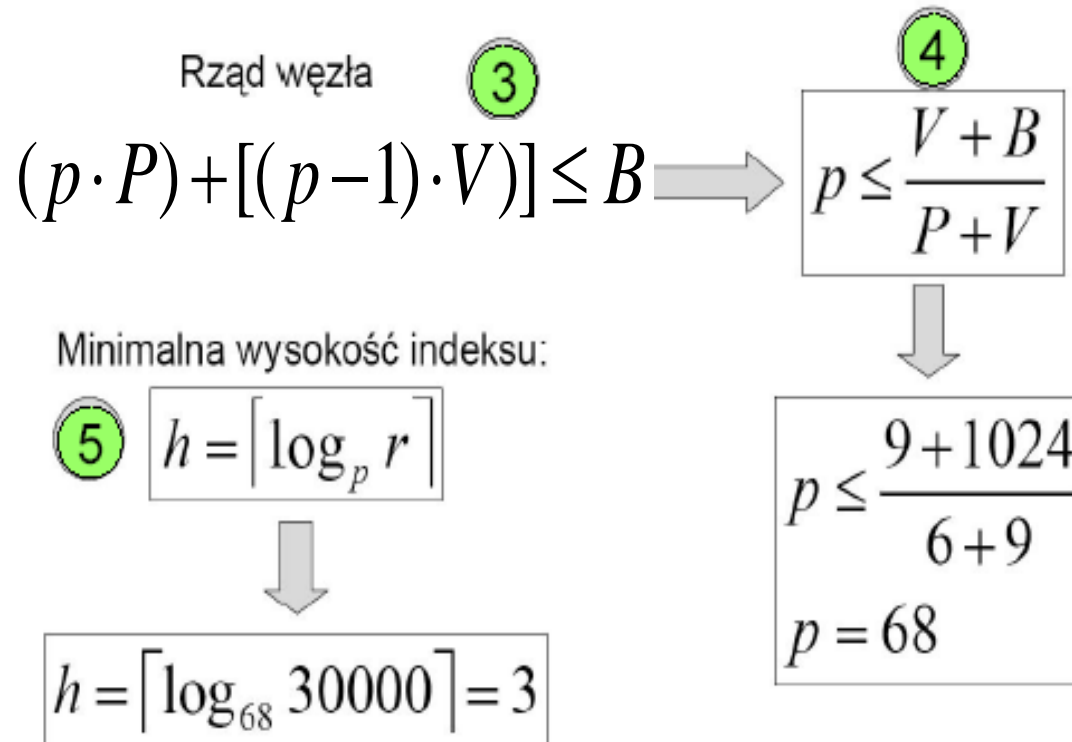
Rekordy mają stałą długość i nie są dzielone między bloki.

Na pliku danych jest zakładany indeks wtórny.





obliczanie rzędu indeksu - przykład



Rozmiar bloku: $B = 1024B$

Rozmiar rekordu: $R = 100$ bajtów

Rozmiar klucza: $V = 9$

Rozmiar wskaźnika: $P = 6$

wstawianie danych do indeksu – przykład (1)

Idea działania
algorytmu
modyfikowania
struktury indeksu

Zarządzanie strukturą indeksów B⁺ - drzewo:
wstawianie, usuwanie, modyfikowanie wartości
atrybutu indeksowego

- Założenia
 - indeks B⁺-drzewo
 - rząd drzewa: 3
 - sekwencja danych wstawianych do indeksu:

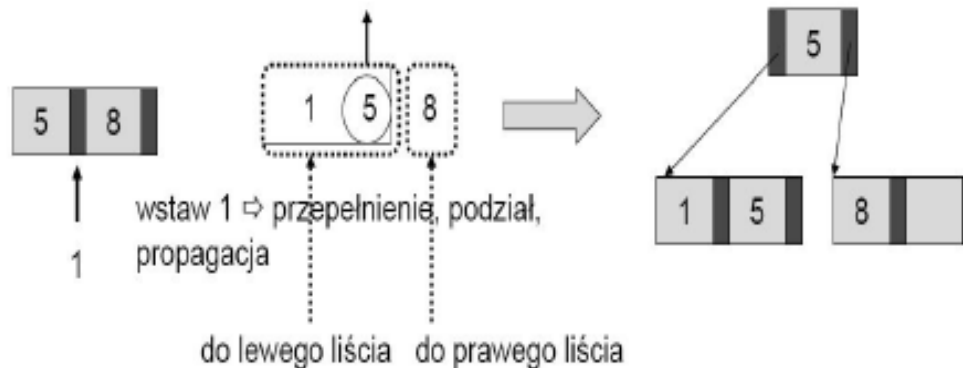
• 8, 5, 1, 7, 3, 12, 9, 6

- Wstawienie 8 i 5 daje liść



Każdy węzeł posiada minimalnie 2 i maksymalnie 3
wskaźniki

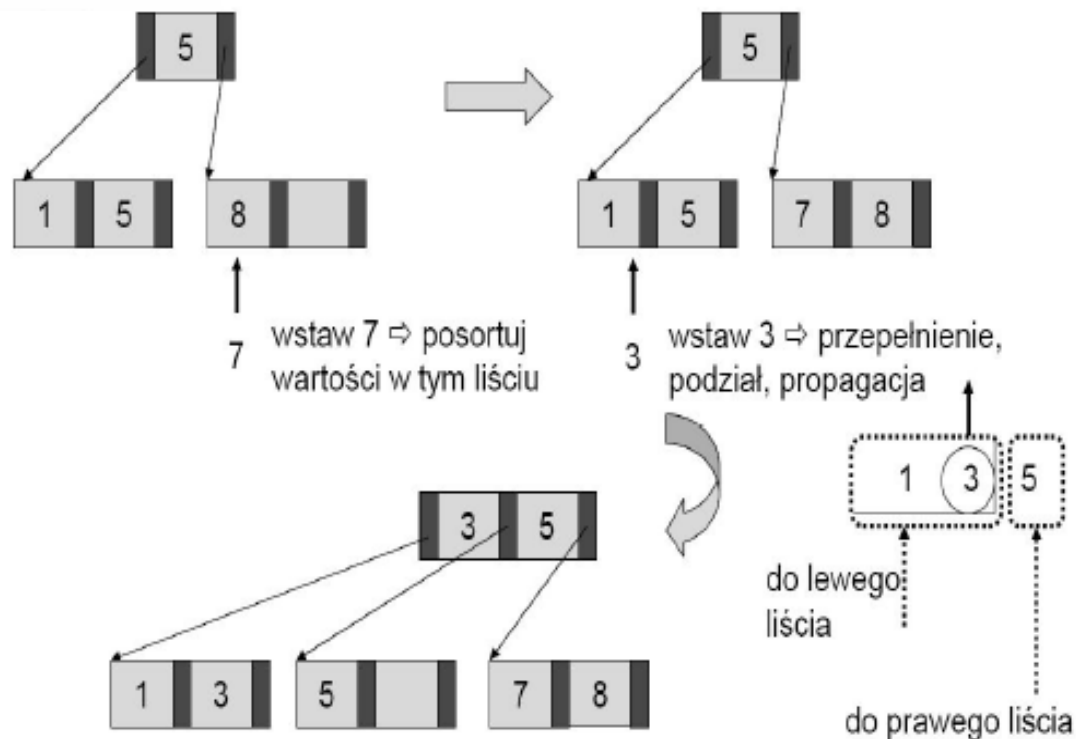
Liść posiada od 1 do 2 wartości atrybutu
indeksowego



wstawianie danych do indeksu – przykład (2)

sekwencja danych wstawianych do indeksu:

• 8, 5, 1, 7, 3, 12, 9, 6



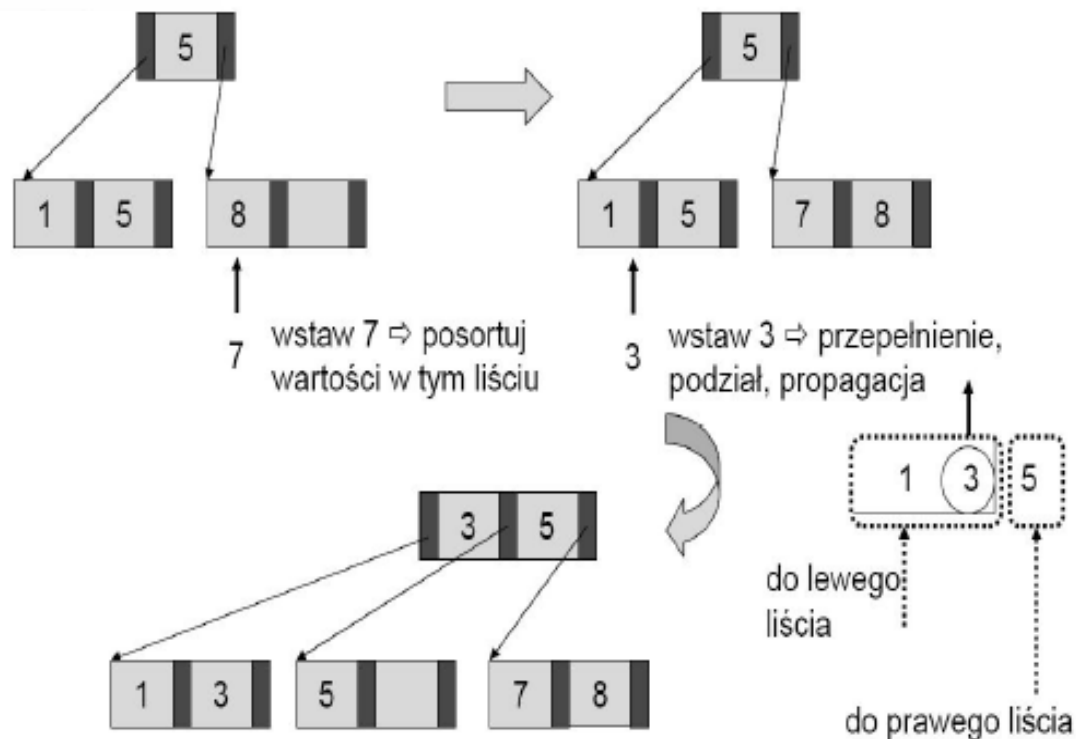
Wartość 7 musi być wstawiona do prawego liścia, który posiada miejsce na jedną wartość.



wstawianie danych do indeksu – przykład (2)

sekwencja danych wstawianych do indeksu:

• 8, 5, 1, 7, 3, 12, 9, 6

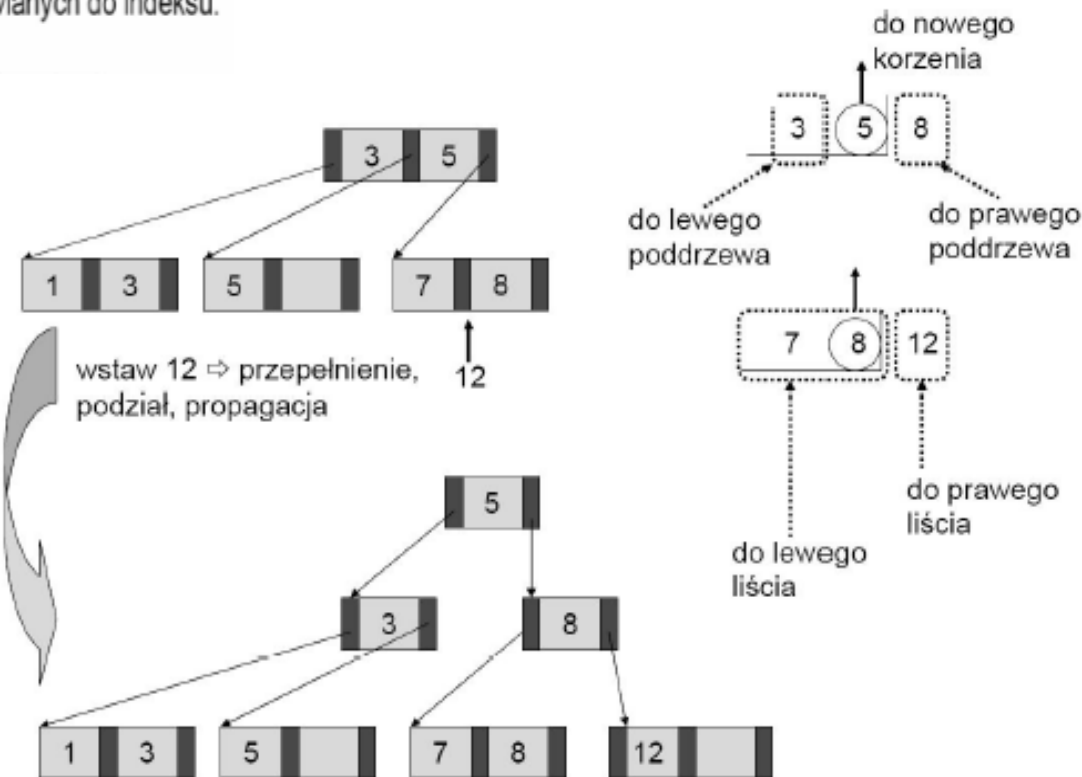


Wartość 3 musi być wstawiona do lewego liścia.

wstawianie danych do indeksu – przykład (3)

sekwencja danych wstawianych do indeksu:

• 8, 5, 1, 7, 3, 12, 9, 6



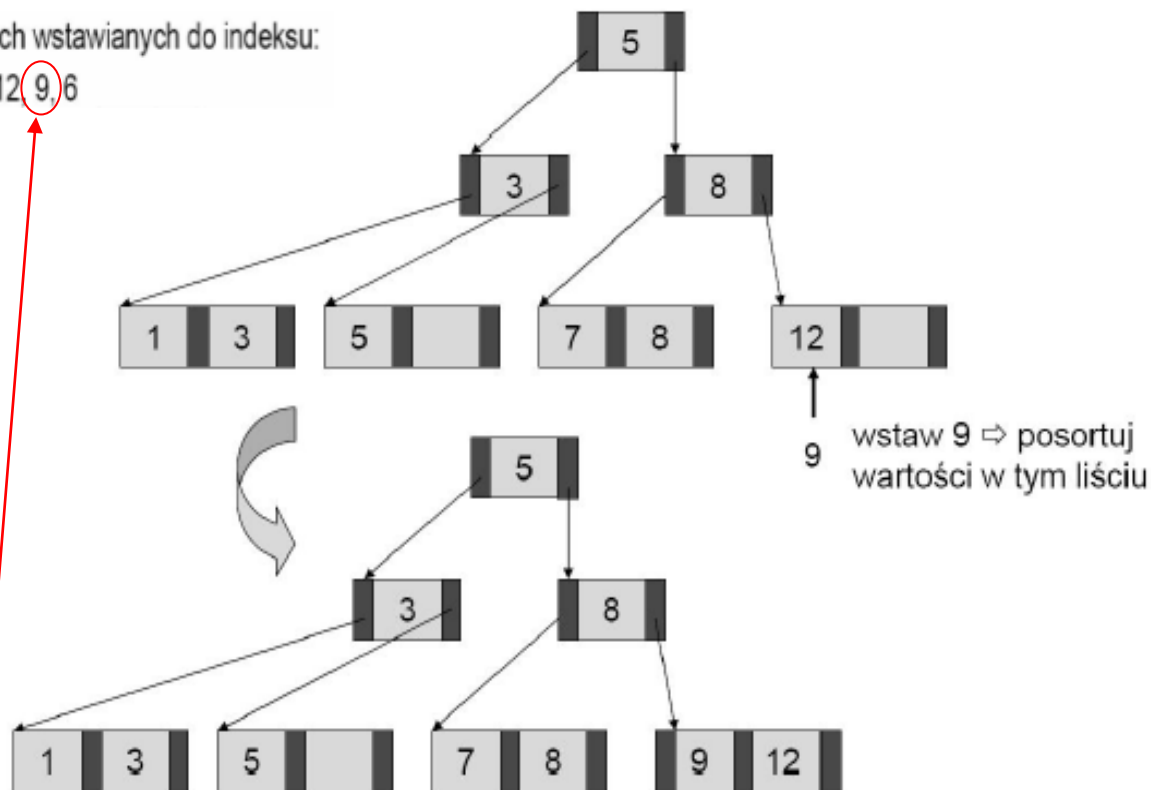
Wartość 12 musi być wstawiona do skrajnie prawego liścia.

wstawianie danych do indeksu – przykład (4)



sekwencja danych wstawianych do indeksu:

• 8, 5, 1, 7, 3, 12, 9, 6

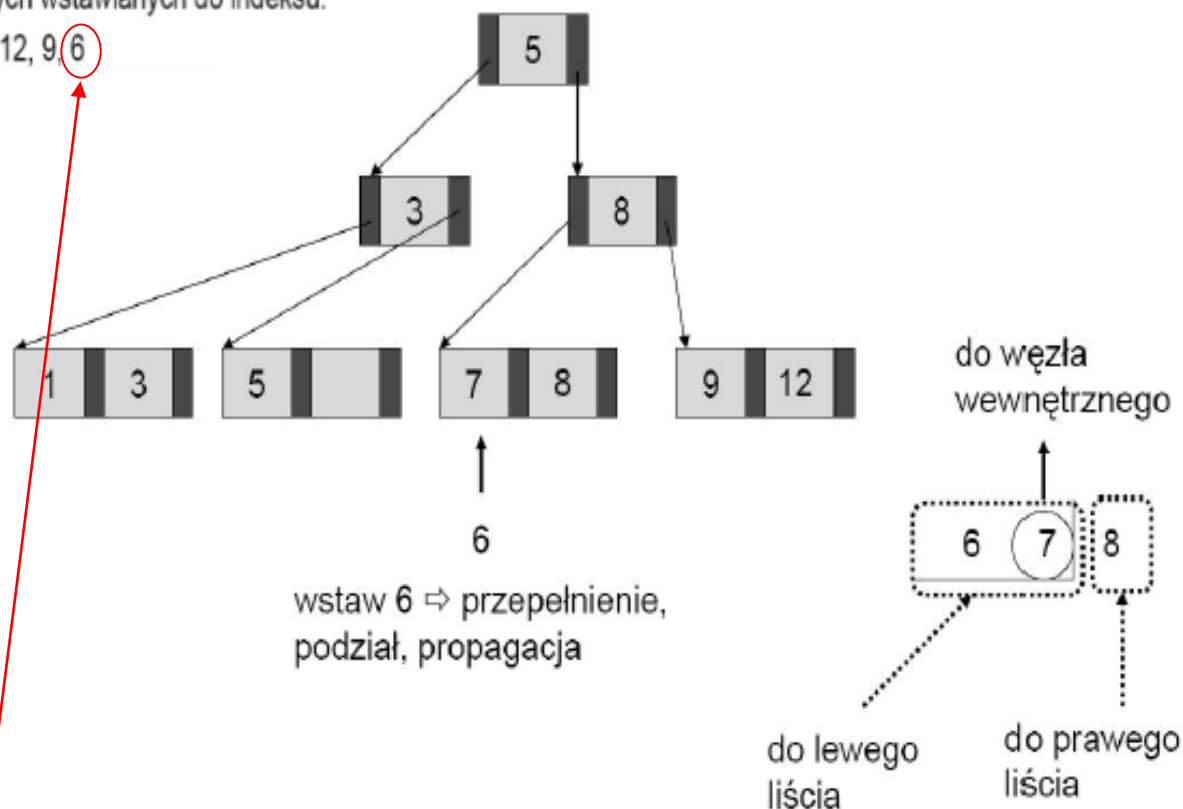


Wartość 9 musi być wstawiona do skrajnie prawego liścia, który posiada miejsce na jedną wartość. Wartości w tym liście należy posortować.

wstawianie danych do indeksu – przykład (5)

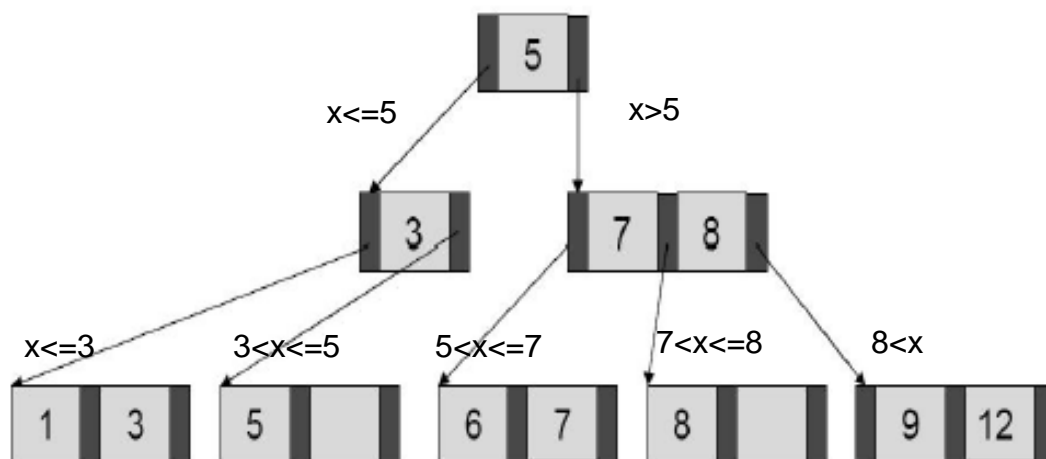
sekwencja danych wstawianych do indeksu:

• 8, 5, 1, 7, 3, 12, 9, 6



Wartość 6 musi być wstawiona do trzeciego od lewej liścia.

wstawianie danych do indeksu – przykład (6)



Ostateczna struktura indeksu jest przedstawiona powyżej



Koniec wykładu