

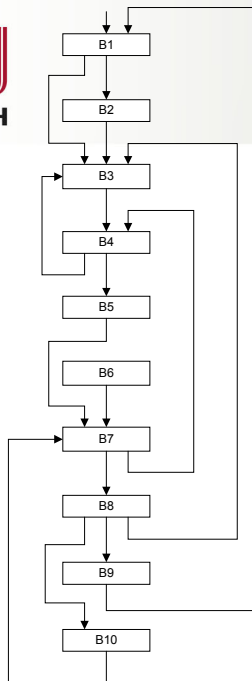


AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

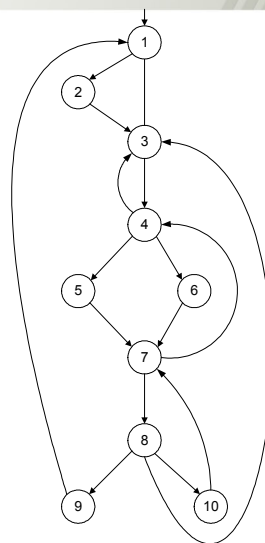
Grafy przepływu

Teoria kompilacji

Dr inż. Janusz Majewski
Katedra Informatyki



Ilustrowanie grafów przepływu





Pętle w grafach przepływu

Pętla nazywamy taki zbiór w grafie przepływu, który charakteryzuje się tym, że:

- 1) wszystkie węzły w zbiorze są silnie powiązane, to znaczy, że z każdego węzła w pętli do każdego innego prowadzi droga o długości jeden lub więcej, całkowicie zawarta w pętli
- 2) zbiór węzłów posiada dokładnie jeden węzeł wejściowy, czyli taki węzeł, że wszystkie drogi z zewnątrz pętli prowadzące do węzłów pętli muszą najpierw przejść przez węzeł wejściowy

Pętla nie zawierająca innych pętli nazywana jest pętlą wewnętrzną.



Relacja dominacji

Mówimy, że węzeł d w grafie przepływu **dominuje** węzeł n , co zapisujemy $d \text{ dom } n$, jeśli każda droga prowadząca z węzła początkowego do n przechodzi przez d .

Zgodnie z tą definicją:

- Każdy węzeł dominuje siebie samego
- Węzeł wejściowy pętli dominuje wszystkie węzły w pętli.



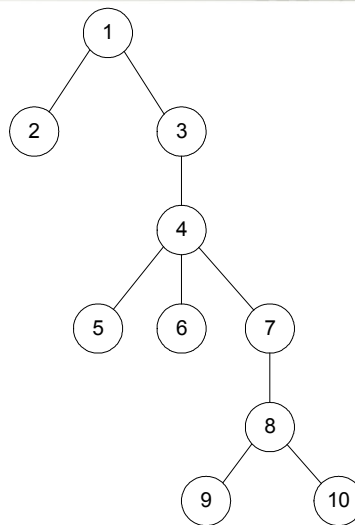
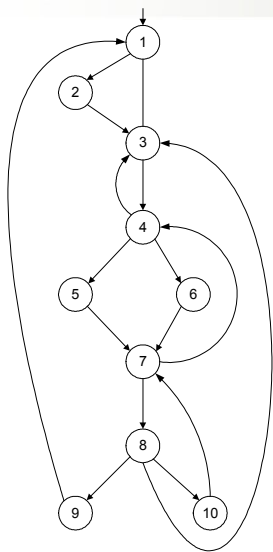
Relacja dominacji

Relację dominacji ilustrujemy często w postaci tzw. **drzewa dominacji**, w którym korzeniem jest węzeł początkowy grafu przepływu, zaś każdy węzeł dominuje tylko swoje potomstwo w drzewie dominacji.

Istnienie drzewa dominacji wynika z następującej własności relacji dominacji: każdy węzeł n (z wyjątkiem węzła początkowego grafu) posiada dokładnie jeden węzeł bezpośrednio go dominujący, jest to ostatni węzeł dominujący n na każdej z dróg prowadzących od węzła początkowego do n .



Drzewo dominacji





Relacja dominacji a pętla

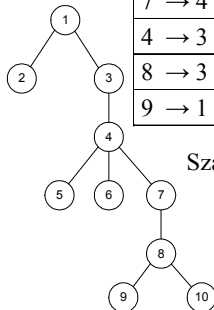
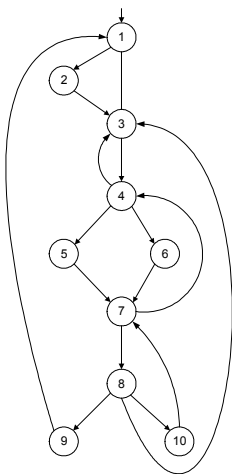
Wykorzystanie relacji dominacji do wyznaczania pętli:

- 1) Pętla musi mieć jedyny punkt wejścia (węzeł wejściowy) zwany nagłówkiem. Ten punkt wejścia dominuje wszystkie węzły w pętli.
- 2) Musi istnieć co najmniej jeden sposób iteracji pętli, tzn. co najmniej jedna droga prowadząca z węzła należącego do pętli z powrotem do nagłówka.

Krawędzią wsteczną nazywamy taką krawędź grafu przepływu prowadzącą z węzła a do b ($a \rightarrow b$), dla której b dominuje a ($b \text{ dom } a$).



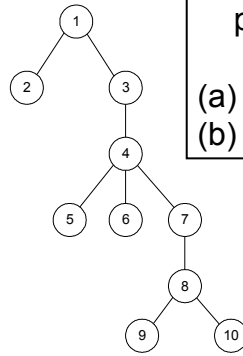
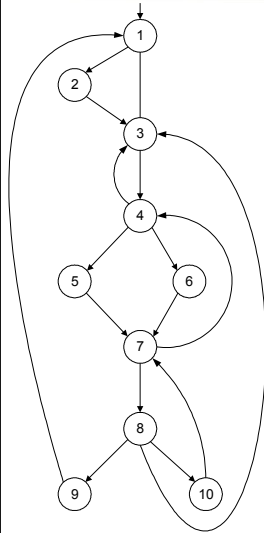
Przykład – pętla



Krawędź wsteczna:	Pętla:	Komentarz:
$10 \rightarrow 7$	{7, 8, 10}	Jedyna pętla wewnętrzna
$7 \rightarrow 4$	{4, 5, 6, 7, 8, 10}	} Ta sama pętla
$4 \rightarrow 3$	{3, 4, 5, 6, 7, 8, 10}	
$8 \rightarrow 3$	{3, 4, 5, 6, 7, 8, 10}	
$9 \rightarrow 1$	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	Cały program

Szarym kolorem zostały zaznaczone nagłówki pętli.

Przykład – pętle

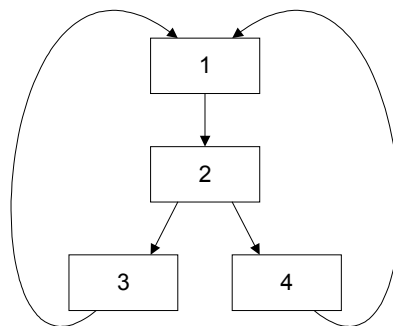


Dlaczego (wbrew naszej intuicji) pętłami NIE są:

(a) {3, 4}

(b) {3, 4, 5, 6, 7}

Przykład – pętle



Ile tutaj jest pętli? Ile jest pętli wewnętrznych?

/ Dwie pętle o tym samym nagłówku mogą być albo rozłączne, albo jedna z nich jest całkowicie zawarta w drugiej */*



Relacja dominacji a pętle

Mając krawędź wsteczną $n \rightarrow d$ ($d \text{ dom } n$) definiujemy pętlę jako zbiór zawierający węzeł d (nagłówek), węzeł n (jeśli $n \neq d$) oraz te wszystkie węzły, z których (bezpośrednio lub pośrednio) można dojść do n nie przechodząc przez d .



Algorytm wyznaczania pętli opartej na krawędzi wstecznej $n \rightarrow d$

Wejście: Graf przepływu G i krawędź wsteczna $n \rightarrow d$ ($d \text{ dom } n$)

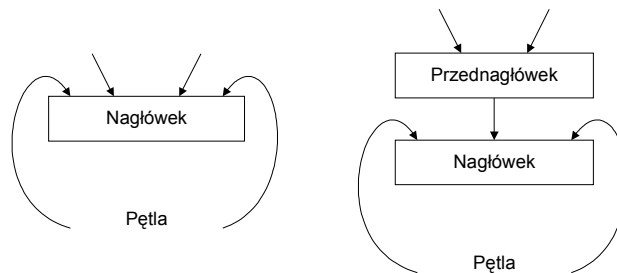
Wyjście: Zbiór loop zawierający wszystkie węzły pętli opartej na krawędzi wstecznej $n \rightarrow d$

```
procedure insert(m);  
if m is not in loop then  
  begin  
    loop := loop  $\cup$  {m}  
    push m onto stack;  
  end;  
end;  
/* main program follows */  
stack := empty;  
loop := {d};  
insert(n);  
while stack is not empty do  
  begin  
    pop m, the first element of stack, off stack;  
    for each predecessor p of m do  
      insert(p);  
  end;
```



Przednagłówek pętli

Tworzenie przednagłówka pętli jest praktykowane wówczas gdy transformacje wymagają przeniesienia instrukcji trójadresowych „przed nagłówek”. Można utworzyć wówczas nowy blok zwany przednagłówkiem, początkowo pusty; późniejsze transformacje będą mogły tam wstawiać instrukcje przesuwane z wnętrza pętli. Jedynym następnikiem przednagłówka jest nagłówek; wszystkie krawędzie dochodzące poprzednio do nagłówka z zewnątrz pętli będą teraz dochodziły do przednagłówka, krawędzie wsteczne budujące pętlę będą bez zmian kończone w nagłówku.



Redukowalne grafy przepływu

Redukowalne grafy przepływu uzyskujemy w wyniku tłumaczenia programów, do pisania których wykorzystywano wyłącznie instrukcje strukturalne jak: instrukcja złożona, *if – then – else*, *while – do*, *do – while*, *for*, *switch – case*, *continue*, *break*, itd. Zastosowanie *goto* może spowodować uzyskanie nieredukowalnego grafu przepływu.



Redukowalne grafy przepływu

Graf przepływu nazywamy **redukowalnym** jeżeli można podzielić jego krawędzie na dwie rozłączne grupy: krawędzie skierowane ku przodowi (forward edges) i krawędzie wsteczne (back edges). Krawędzie wsteczne zdefiniowano poprzednio ($n \rightarrow d, d \text{ dom } n$), pozostałe są krawędziami skierowanymi ku przodowi. Aby graf przepływu był redukowalny krawędzie skierowane ku przodowi muszą tworzyć graf acykliczny, w którym każdy węzeł jest osiągalny z węzła początkowego.



Grafy nieredukowalne

Przykład grafu nieredukowalnego (obok znajduje się jego drzewo dominacji):

/ brak krawędzi
wstecznych */
/* brak pętli */
/* cały graf nie jest
acykliczny */*

