Informatyka 1 (EZ1E2008)

Politechnika Białostocka - Wydział Elektryczny

Elektrotechnika, semestr II, studia niestacjonarne I stopnia

Rok akademicki 2021/2022

Wykład nr 5 (08.04.2022)

dr inż. Jarosław Forenc

Plan wykładu nr 5

- Standard IEEE 754
  - liczby 32-bitowe, liczby 64-bitowe
  - zakres i precyzja liczb
  - wartości specjalne, operacje z wartościami specjalnymi
- Język C
  - pętla for, operatory ++ i --

Standard IEEE 754

- IEEE Std. 754-2008 - IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic
- Standard definiuje następujące klasy liczb zmiennoprzecinkowych:

Precyzja	Długość słowa [bity]	Znak [bity]	Wykładnik		Mantysa	
			Długość [bity]	Zakres	Długość [bity]	Cyfry znaczące
Pojedyncza (Single Precision, binary32)	32	1	8	$2^{\pm 127} \approx 10^{\pm 38}$	23	7
Pojedyncza rozszerzona (Single Extended)	≥ 43	1	≥ 11	$\geq 2^{\pm 1023} \approx 10^{\pm 308}$	≥ 31	≥ 10
Podwójna (Double Precision, binary64)	64	1	11	$2^{\pm 1023} \approx 10^{\pm 308}$	52	16
Podwójna rozszerzona (Double Extended)	≥ 79	1	≥ 15	$\geq 2^{\pm 16383} \approx 10^{\pm 4932}$	≥ 63	≥ 19

źródło: Gryś S.: „Arytmetyka komputerów w praktyce". PWN, Warszawa, 2007 (str. 116).

Standard IEEE 754

- W przypadku liczb:
  - pojedynczej rozszerzonej precyzji (ang. Single Precision)
  - podwójnej rozszerzonej precyzji (ang. Double Precision)

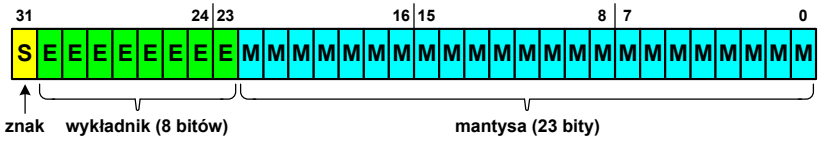
  standard podaje jedynie minimalną liczbę bitów pozostawiając szczegóły implementacji producentom procesorów i kompilatorów
- Bardzo popularny był 80-bitowy format podwójnej rozszerzonej precyzji (Extended Precision) wprowadzony przez firmę Intel
- W 80-bitowym formacie Intela:
  - długość słowa: 80 bitów
  - znak: 1 bit
  - wykładnik: 15 bitów (zakres: $2^{\pm 16383} \approx 10^{\pm 4932}$)
  - mantysa: 63 bity (cyfry znaczące: 19)

Standard IEEE 754

- Standard IEEE 754 definiuje dziesiętne typy zmiennoprzecinkowe (operujące na cyfrach dziesiętnych):
  - decimal32 (32 bity, 7 cyfr dziesiętnych)
  - decimal64 (64 bity, 16 cyfr dziesiętnych)
  - decimal128 (128 bitów, 34 cyfry dziesiętnych)
- Standard IEEE 754 definiuje:
  - sposób reprezentacji specjalnych wartości, np. nieskończoności, zera
  - sposób wykonywania działań na liczbach zmiennoprzecinkowych
  - sposób zaokrąglania liczb

Standard IEEE 754 - liczby 32-bitowe

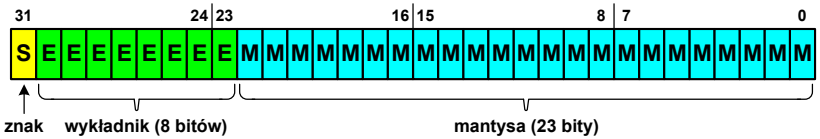
- Liczba pojedynczej precyzji przechowywana jest na 32 bitach:



- Pierwszy bit w zapisie (bit nr 31) jest bitem znaku (0 - liczba dodatnia, 1 - liczba ujemna)
- Wykładnik zapisywany jest na 8 bitach (bity nr 30-23) z nadmiarem o wartości 127
- Wykładnik może przyjmować wartości od -127 (wszystkie bity wyzerowane) do 128 (wszystkie bity ustawione na 1)

Standard IEEE 754 - liczby 32-bitowe

- Liczba pojedynczej precyzji przechowywana jest na 32 bitach:



- Mantysa w większości przypadków jest znormalizowana
- Wartość mantysy zawiera się pomiędzy 1 a 2, a zatem w zapisie liczby pierwszy bit jest zawsze równy 1
- Powyższy bit nie jest zapamiętywany, natomiast jest automatycznie uwzględniany podczas wykonywania obliczeń
- Dzięki pominięciu tego bitu zyskujemy dodatkowy bit mantysy (zamiast 23 bitów mamy 24 bity)

Standard IEEE 754 - liczby 32-bitowe

- Przykład:
  - obliczmy wartość dziesiętną liczby zmiennoprzecinkowej

$$01000010110010000000000000000000_{(\mathrm{IEEE754})} = ?_{(10)}$$

  - dzielimy liczbę na części

$$\underbrace{0}_{\text{S-bit znaku}} \quad \underbrace{10000101}_{\text{E-wykładnik}} \quad \underbrace{10010000000000000000000}_{\text{M-mantysa (tylko czesc ulamkowa)}}$$

  - określamy znak liczby

$$S = 0 \quad -\text{liczba dodatnia}$$

  - obliczamy wykładnik (nadmiar: 127)

$$10000101_{(2)} = 128+4+1 = 133 \quad \Rightarrow \quad E = 133 - \underbrace{127}_{nadmiar} = 6_{(10)}$$

Standard IEEE 754 - liczby 32-bitowe

- Przykład (cd.):
  - wyznaczamy mantysę dopisując na początku 1, (część całkowita)

$$M = 1{,}10010000000000000000000 =$$
$$= 1\cdot 2^{0} + 1\cdot 2^{-1} + 1\cdot 2^{-4} = 1 + 0{,}5 + 0{,}0625 = 1{,}5625_{(10)}$$

  - wzór na wartość dziesiętną liczby zmiennoprzecinkowej:

$$L = (-1)^{S}\cdot M\cdot 2^{E}$$

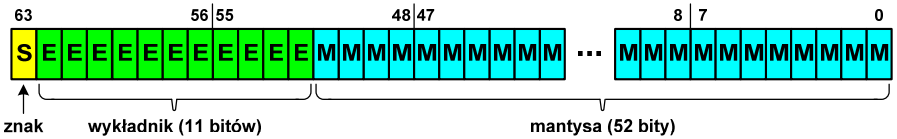
  - podstawiając otrzymujemy:

$$S = 0, \qquad E = 6_{(10)}, \qquad M = 1{,}5625_{(10)}$$
$$L = (-1)^{0}\cdot 1{,}5625\cdot 2^{6} = 100_{(10)}$$

$$01000010110010000000000000000000_{(IEEE754)} = 100_{(10)}$$

Standard IEEE 754 - liczby 64-bitowe

- Liczba podwójnej precyzji przechowywana jest na 64 bitach:



- Pierwszy bit w zapisie (bit nr 63) jest bitem znaku (0 - liczba dodatnia, 1 - liczba ujemna)
- Wykładnik zapisywany jest na 11 bitach (bity nr 62-52) z nadmiarem o wartości 1023
- Wykładnik może przyjmować wartości od -1023 (wszystkie bity wyzerowane) do 1024 (wszystkie bity ustawione na 1)
- Mantysa zapisywana jest na 52 bitach (pierwszy bit mantysy, zawsze równy 1, nie jest zapamiętywany)

Standard IEEE 754 - zakres liczb

- Pojedyncza precyzja:
  - największa wartość: $\approx 3{,}4\cdot 10^{38}$
  - najmniejsza wartość: $\approx 1{,}4\cdot 10^{-45}$
  - zakres liczb: $<-3{,}4\cdot 10^{38} \ldots -1{,}4\cdot 10^{-45}> \cup \{0\} \cup <1{,}4\cdot 10^{-45} \ldots 3{,}4\cdot 10^{38}>$
- Podwójna precyzja:
  - największa wartość: $\approx 1{,}8\cdot 10^{308}$
  - najmniejsza wartość: $\approx 4{,}9\cdot 10^{-324}$
  - zakres liczb: $<-1{,}8\cdot 10^{308} \ldots -4{,}9\cdot 10^{-324}> \cup \{0\} \cup <4{,}9\cdot 10^{-324} \ldots 1{,}8\cdot 10^{308}>$
- Podwójna rozszerzona precyzja:
  - największa wartość: $\approx 1{,}2\cdot 10^{4932}$
  - najmniejsza wartość: $\approx 3{,}6\cdot 10^{-4951}$
  - zakres liczb: $<-1{,}2\cdot 10^{4932} \ldots -3{,}6\cdot 10^{-4951}> \cup \{0\} \cup <3{,}6\cdot 10^{-4951} \ldots 1{,}2\cdot 10^{4932}>$

Standard IEEE 754 - precyzja liczb

- Precyzja - liczba zapamiętywanych cyfr znaczących w systemie (10)

  4,86452137846 → 4,864521 - 7 cyfr znaczących

- Precyzja liczby zależy od liczby bitów mantysy
- Liczba bitów potrzebnych do zakodowania 1 cyfry dziesiętnej:

$$10^{1} = 2^{n} \quad \rightarrow \quad n = \log_2(10) \approx 3{,}321928$$

- Liczba cyfr dziesiętnych (d) możliwa do zakodowania na m bitach:

$\log_2(10)$ bitów - 1 cyfra dziesiętna
m bitów - d cyfr dziesiętnych

$$d = \frac{m}{\log_2(10)}$$

Standard IEEE 754 - precyzja liczb

- Dla formatu pojedynczej precyzji:
  - mantysa: 23 + 1 = 24 bity
  - cyfry znaczące: 7

$$d = \frac{24}{\log_2(10)} = \frac{24}{3{,}321928} = 7{,}2247 \approx 7$$

- Dla formatu podwójnej precyzji:
  - mantysa: 52 + 1 = 53 bity
  - cyfry znaczące: 16

$$d = \frac{53}{\log_2(10)} = \frac{53}{3{,}321928} = 15{,}9546 \approx 16$$

- Dla formatu podwójnej rozszerzonej precyzji:
  - mantysa: 63 + 1 = 64 bity
  - cyfry znaczące: 19

$$d = \frac{64}{\log_2(10)} = \frac{64}{3{,}321928} = 19{,}2659 \approx 19$$

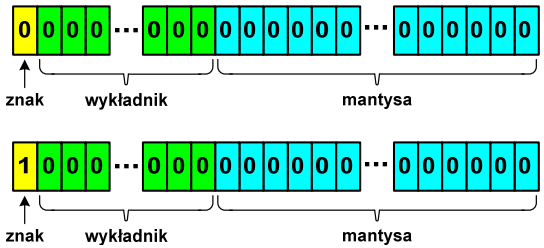
Standard IEEE 754 - precyzja liczb

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    float x;
    double y;

    x = 1234567890.0;    /* 1.234.567.890 */
    y = 1234567890.0;    /* 1.234.567.890 */
    printf("float  -> %f\n",x);
    printf("double -> %f\n\n",y);

    y = 12345678901234567890.0;
    printf("double -> %f\n",y);

    return 0;
}
```

```
float  -> 1234567936.000000
double -> 1234567890.000000

double -> 12345678901234567000.000000
```


Standard IEEE 754 - wartości specjalne

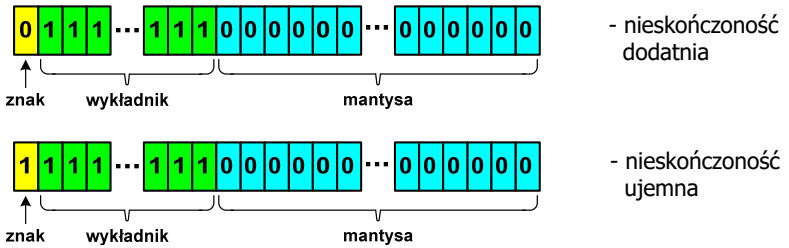
- Zero:



- Podczas porównań zero dodatnie i ujemne są traktowane jako równe sobie

Standard IEEE 754 - wartości specjalne

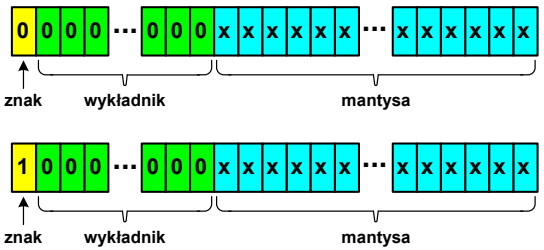
- Nieskończoność:



- Nieskończoność występuje w przypadku wystąpienia nadmiaru (przepełnienia) oraz przy dzieleniu przez zero

Standard IEEE 754 - wartości specjalne

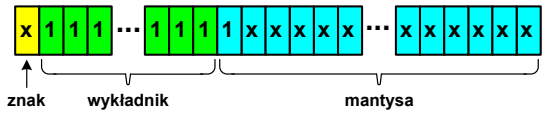
- Liczba zdenormalizowana:



- Pojawia się, gdy występuje niedomiar (ang. underflow), ale wynik operacji można jeszcze zapisać denormalizując mantysę
- Mantysa nie posiada domyślnej części całkowitej równej 1, tzn. reprezentuje liczbę o postaci 0,xxx…xxx, a nie 1,xxx…xxx

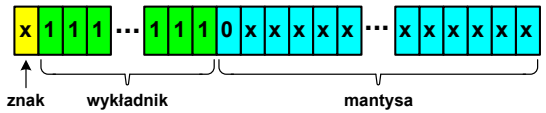
Standard IEEE 754 - wartości specjalne

- Nieliczby - NaN (Not A Number) - nie reprezentują wartości liczbowej
- Powstają w wyniku wykonania niedozwolonej operacji
- QNaN (ang. Quiet NaN) - ciche nieliczby



  - „przechodzą" przez działania arytmetyczne (brak przerwania wykonywania programu)

- SNaN (ang. Signaling NaN) - sygnalizujące, istotne, głośne nieliczby



  - zgłoszenie wyjątku (przerwanie wykonywania programu)

Standard IEEE 754 - wartości specjalne

- Standard IEEE 754 definiuje dokładnie wyniki operacji, w których występują specjalne argumenty

Operacja	Wynik
x / ±∞	0
±∞ · ±∞	±∞
±wart_niezer / 0	±∞
∞ + ∞	∞
±0 / ±0	NaN
∞ - ∞	NaN
±∞ / ±∞	NaN
±∞ · 0	NaN

Język C - operacje z wartościami specjalnymi

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>

int main(void)
{
  float x = 0.0;
  printf("1.0/0.0     = %f\n",1.0/x);
  printf("-1.0/0.0    = %f\n",-1.0/x);
  printf("0.0/0.0     = %f\n",0.0/x);
  printf("sqrt(-1.0)  = %f\n",sqrt(-1.0));
  printf("1.0/INF     = %f\n",1.0/(1.0/x));
  printf("0*INF       = %f\n",0.0*(1.0/x));

  return 0;
}
```

```
1.0/0.0     =  1.#INF00
-1.0/0.0    = -1.#INF00
0.0/0.0     = -1.#IND00
sqrt(-1.0)  = -1.#IND00
1.0/INF     =  0.000000
0*INF       = -1.#IND00
```

Operacja	Wynik
x / ±∞	0
±∞ · ±∞	±∞
±wart_niezer / 0	±∞
∞ + ∞	∞
±0 / ±0	NaN
∞ - ∞	NaN
±∞ / ±∞	NaN
±∞ · 0	NaN

- Środowisko: Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition

Język C - operacje z wartościami specjalnymi

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

int main(void)
{
  printf("1.0/0.0     = %f\n",1.0/0.0);
  printf("-1.0/0.0    = %f\n",-1.0/0.0);
  printf("0.0/0.0     = %f\n",0.0/0.0);
  printf("sqrt(-1.0)  = %f\n",sqrt(-1.0));
  printf("1.0/INF     = %f\n",1.0/(1.0/0.0));
  printf("0*INF       = %f\n",0.0*(1.0/0.0));

  return 0;
}
```

```
1.0/0.0     =  1.#INF00
-1.0/0.0    = -1.#INF00
0.0/0.0     = -1.#IND00
sqrt(-1.0)  = -1.#IND00
1.0/INF     =  0.000000
0*INF       = -1.#IND00
```

Operacja	Wynik
x / ±∞	0
±∞ · ±∞	±∞
±wart_niezer / 0	±∞
∞ + ∞	∞
±0 / ±0	NaN
∞ - ∞	NaN
±∞ / ±∞	NaN
±∞ · 0	NaN

- Środowisko: Code::Blocks 20.03

Reprezentacja liczb zmiennoprzecinkowych w C

- Typy zmiennoprzecinkowe w języku C:

Nazwa typu	Rozmiar (bajty)	Zakres wartości	Cyfry znaczące
float	4 bajty	$-3{,}4\cdot10^{38}$ … $3{,}4\cdot10^{38}$	7-8
double	8 bajtów	$-1{,}8\cdot10^{308}$ … $1{,}8\cdot10^{308}$	15-16
long double	10 bajtów	$-1{,}2\cdot10^{4932}$ … $1{,}2\cdot10^{4932}$	19-20

- Typ long double może mieć także inny rozmiar:

Środowisko	Rozmiar (bajty)
MS Visual C++ 2008 EE	8 bajtów
Borland Turbo C++ Explorer	10 bajtów
Code:Blocks 20.03	16 bajtów (*)
Dev-C++ 5.11	16 bajtów (*)

Reprezentacja liczb zmiennoprzecinkowych w C

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    float       sf  = 0.0f;
    double      sd  = 0.0;
    long double slg = 0.0L;

    for (int i=0; i<10000; i++)
    {
        sf  = sf  + 0.01f;
        sd  = sd  + 0.01;
        slg = slg + 0.01L;
    }

    printf("float:       %.20f\n",sf);
    printf("double:      %.20f\n",sd);
    printf("long double: %.20Lf\n",slg);

    return 0;
}
```


Reprezentacja liczb zmiennoprzecinkowych w C

- Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition (long double - 8 bajtów)

```
float:       100.00295257568359000000
double:      100.00000000001425000000
long double: 100.00000000001425000000
```

- Borland Turbo C++ Explorer (long double - 10 bajtów)

```
float:       100.00295257568359375000
double:      100.00000000001425349000
long double: 100.00000000000001388000
```

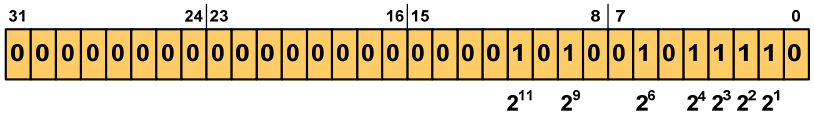
- Code::Blocks 20.03 (long double - 16 bajtów)

```
float:       100.00295257568359000000
double:      100.00000000001425000000
long double: 0.00000000000000000000
```

```
warning: unknown conversion
type character 'L' in format
[-Wformat=]
```

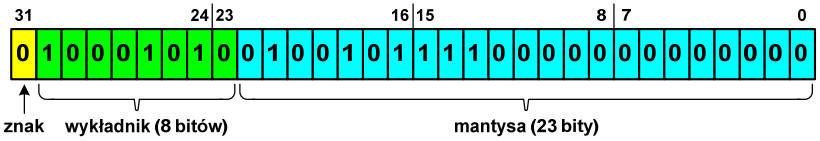
Liczba $2654_{(10)}$ jako całkowita i rzeczywista w C

- int (4 bajty): $2654_{(10)} = 00\ 00\ 0A\ 5E_{(16)}$



$2^{11} + 2^9 + 2^6 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 = 2048 + 512 + 64 + 16 + 8 + 4 + 2 = 2654_{(10)}$

- float (4 bajty): $2654_{(10)} = 45\ 25\ E0\ 00_{(IEEE\ 754)}$



$+\ 138 - 127 = 11_{(10)}$ $\quad 1\ .0100101111_{(2)} = 1.2958984_{(10)}$

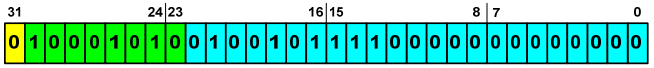
$1.2958984 \cdot 2^{11} = 2654_{(10)}$

Język C - nieprawidłowy specyfikator formatu

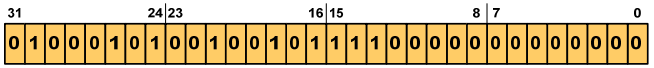
```
int x;
printf("x (%%f) = "); scanf("%f",&x);
printf("x (%%d) = %d\n",x);
printf("x (%%f) = %f\n",x);
printf("x (%%e) = %e\n",x);
```

```
x (%f) = 2654
x (%d) = 1160110080
x (%f) = 0.000000
x (%e) = 5.731705e-315
```

- Zgodnie ze standardem języka C wynik jest niezdefiniowany
- Zapamiętana wartość:



- Wyświetlona wartość przy wykorzystaniu %d:



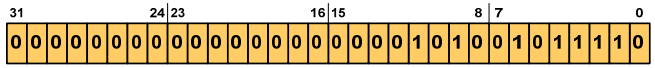
$2^{30} + 2^{26} + 2^{24} + 2^{21} + 2^{18} + 2^{16} + 2^{15} + 2^{14} + 2^{13} = 1.160.110.080_{(10)}$

Język C - nieprawidłowy specyfikator formatu

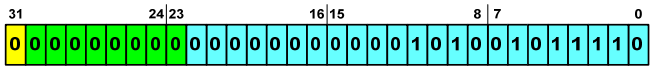
```
float x;
printf("x (%%d) = "); scanf("%d",&x);
printf("x (%%d) = %d\n",x);
printf("x (%%f) = %f\n",x);
printf("x (%%e) = %e\n",x);
```

```
x (%d) = 2654
x (%d) = 0
x (%f) = 0.000000
x (%e) = 3.719046e-042
```

- Zgodnie ze standardem języka C wynik jest niezdefiniowany
- Zapamiętana wartość:



- Wyświetlona wartość przy wykorzystaniu %e:



Liczba zdenormalizowana: 3,719046E-42

Przykład: suma kolejnych 10 liczb: 1+2+...+10

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int suma;

    suma = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10;

    printf("Suma wynosi: %d\n",suma);

    return 0;
}
```

```
Suma wynosi: 55
```

Przykład: suma kolejnych 100 liczb: 1+2+…+100

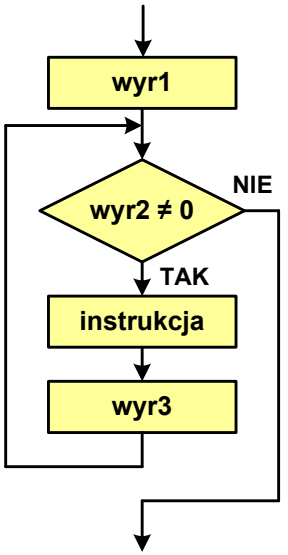
```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int suma=0, i;

    for (i=1; i<=100; i=i+1)
        suma = suma + i;

    printf("Suma wynosi: %d\n",suma);

    return 0;
}
```

```
Suma wynosi: 5050
```


Język C - pętla for

```
for (wyr1; wyr2; wyr3)
    instrukcja
```

- wyr1, wyr2, wyr3 - dowolne wyrażenia w języku C
- Instrukcja:
  - prosta - jedna instrukcja zakończona średnikiem
  - złożona - jedna lub kilka instrukcji objętych nawiasami klamrowymi



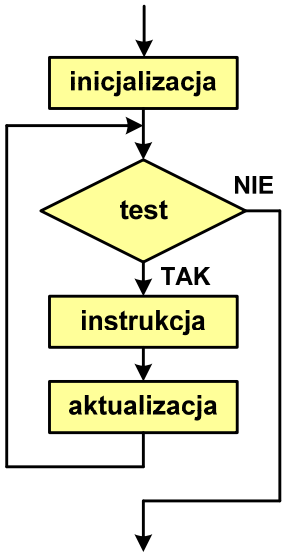
Język C - pętla for

- Najczęściej stosowana postać pętli for

```
int i;
for (i = 0; i < 10; i = i + 1)
    instrukcja
```

- Instrukcja zostanie wykonana 10 razy (dla i = 0, 1, 2, … 9)
- Funkcje pełnione przez wyrażenia

```
for (inicjalizacja;test;aktualizacja)
    instrukcja
```



Przykład: wyświetlenie tekstu 5 razy

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int i;

    for (i=0; i<5; i=i+1)
        printf("Programowanie nie jest trudne\n");

    return 0;
}
```

```
Programowanie nie jest trudne
Programowanie nie jest trudne
Programowanie nie jest trudne
Programowanie nie jest trudne
Programowanie nie jest trudne
```

Przykład - suma liczb: 1 + 2 + … + N

```
#include <stdio.h>
#define N 1234

int main(void)
{
    int i, suma=0;

    for (i=1; i<=N; i++)
        suma = suma + i;

    printf("Suma %d liczb to %d\n", N, suma);

    return 0;
}
```

```
Suma 1234 liczb to 761995
```


Język C - pętla for (przykłady)

```
for (i=0; i<10; i++)
    printf("%d ",i);
```

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
```

```
for (i=0; i<10; i++)
    printf("%d ",i+1);
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

```
for (i=1; i<=10; i++)
    printf("%d ",i);
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```


Język C - pętla for (przykłady)

```
for (i=1; i<10; i=i+2)
    printf("%d ",i);
```

```
1 3 5 7 9
```

```
for (i=10; i>0; i--)
    printf("%d ",i);
```

```
10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
```

```
for (i=-9; i<=9; i=i+3)
    printf("%d ",i);
```

```
-9 -6 -3 0 3 6 9
```


Język C - pętla for (break, continue)

- W pętli for można stosować instrukcje skoku: break i continue

```
int i;

for (i=1; i<10; i++)
{
    if (i%2==0)
        continue;
    if (i%7==0)
        break;
    printf("%d\n",i);
}
```

```
1 3 5
```

- continue przerywa bieżącą iterację i przechodzi do obliczania wyr3
- break przerywa wykonywanie pętli

Język C - pętla for (najczęstsze błędy)

- Postawienie średnika na końcu pętli for

```
int i;
for (i=0; i<10; i++);
printf("%d ",i);
```

```
10
```

- Przecinki zamiast średników pomiędzy wyrażeniami

```
int i;
for (i=0, i<10, i++)
    printf("%d ",i);
```

Błąd kompilacji!

Język C - pętla for (najczęstsze błędy)

- Błędny warunek - brak wykonania instrukcji

```
int i;
for (i=0; i>10; i++)
    printf("%d ",i);
```

- Błędny warunek - pętla nieskończona

```
int i;
for (i=1; i>0; i++)
    printf("%d ",i);
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 ...
```


Język C - pętla nieskończona

```
for (wyr1; wyr2; wyr3)
    instrukcja
```

- Wszystkie wyrażenia (wyr1, wyr2, wyr3) w pętli for są opcjonalne

```
for ( ; ; )
    instrukcja
```

- pętla nieskończona

- W przypadku braku wyr2 przyjmuje się, że jest ono prawdziwe

Język C - zagnieżdżanie pętli for

- Jako instrukcja w pętli for może występować kolejna pętla for

```
int i, j;
for (i=1; i<=3; i++)          // pętla zewnętrzna
    for (j=1; j<=2; j++)      // pętla wewnętrzna
        printf("i: %d   j: %d\n",i,j);
```

```
i: 1   j: 1
i: 1   j: 2
i: 2   j: 1
i: 2   j: 2
i: 3   j: 1
i: 3   j: 2
```

Język C - operator inkrementacji (++)

- Jednoargumentowy operator ++ zwiększa wartość zmiennej o 1 (nie wolno stosować go do wyrażeń)
- Operator ++ może występować jako przedrostek lub przyrostek

Zapis	Nazwa	Znaczenie
`++x`	preinkrementacji	wartość zmiennej jest modyfikowana przed jej użyciem
`x++`	postinkrementacji	wartość zmiennej jest modyfikowana po użyciu jej poprzedniej wartości

Język C - operator inkrementacji (++)

- Przykład

```
int x = 1, y;
y = 2 * ++x;
```

```
int x = 1, y;
y = 2 * x++;
```

- Kolejność operacji

```
++x          x = 2
2 * ++x      2 * 2
y = 2 * ++x  y = 4
```

```
2 * x        2 * 1
y = 2 * x    y = 2
x++          x = 2
```

- Wartości zmiennych

```
x = 2    y = 4
```

```
x = 2    y = 2
```


Język C - operator inkrementacji (++)

- Miejsce umieszczenia operatora ++ nie ma znaczenia w przypadku instrukcji typu:

```
x++;
++x;
```

równoważne

```
x = x + 1;
```

- Nie należy stosować operatora ++ do zmiennych pojawiających się w wyrażeniu więcej niż jeden raz

```
x = x++;
x = ++x;
```

- Zgodnie ze standardem języka C wynik powyższych instrukcji jest niezdefiniowany

Język C - operator dekrementacji (--)

- Jednoargumentowy operator -- zmniejsza wartość zmiennej o 1 (nie wolno stosować go do wyrażeń)
- Operator -- może występować jako przedrostek lub przyrostek

Zapis	Nazwa	Znaczenie
`--x`	predekrementacji	wartość zmiennej jest modyfikowana przed jej użyciem
`x--`	postdekrementacji	wartość zmiennej jest modyfikowana po użyciu jej poprzedniej wartości

Język C - priorytet operatorów ++ i --

Priorytet	Operator / opis
1	`++` `--` (przyrostki) `()` `[]` `.` `->`
2	`++` `--` (przedrostki) `sizeof` `(typ)` `+` `-` `!` `~` `*` `&` (jednoargumentowe)
3	`*` `/` `%`
4	`+` `-` (dwuargumentowe)
5	`<<` `>>`
6	`<` `>` `<=` `>=`
7	`==` `!=`
8	`&` (bitowy)
9	`^`

Koniec wykładu nr 5

Dziękuję za uwagę!