

Termin Egzaminu (Język C):

>> **ŚRODA, 4 LUTEGO 2026** <<

GODZ. 11.00

[**POPRAWKA: PONIEDZIAŁEK, 23 LUTEGO**]

!!!

Forma zaliczenia kursu: Egzamin pisemny – test wyboru *) **)

*) Warunkiem przystąpienia do egzaminu jest **zaliczenie ćwiczeń**
(w uzasadnionych przypadkach: *zgoda prowadzącego ćwiczenia*)

) **Ocena 5.0 (bdb) z ćwiczeń zwalnia z pisemnej części egzaminu

[**OCENA KOŃCOWA:** $0.5 * \text{ocena z ćwiczeń} + 0.5 * \text{wynik egzaminu}$]

Poprzedni wykład [2.12.2025] :

- Operacje plikowe; *pliki binarne i tekstowe*
- Wejście/wyjście: znakowe, wierszowe, formatowane, i niskopoziomowe (funkcje: `fread / fwrite`)
- Dynamiczny przydział pamięci (`malloc / calloc`)
- ***Tablice wskaźników***
- Wskaźniki na wskaźniki i tablice wielowymiarowe; związek tablic wielowymiarowych z tablicami wskaźników

Argumenty wiersza poleceń

Systemy operacyjne, w których uruchamiamy skompilowane programy w języku C, umożliwiają przekazywanie parametrów z wiersza poleceń do uruchamianego programu.

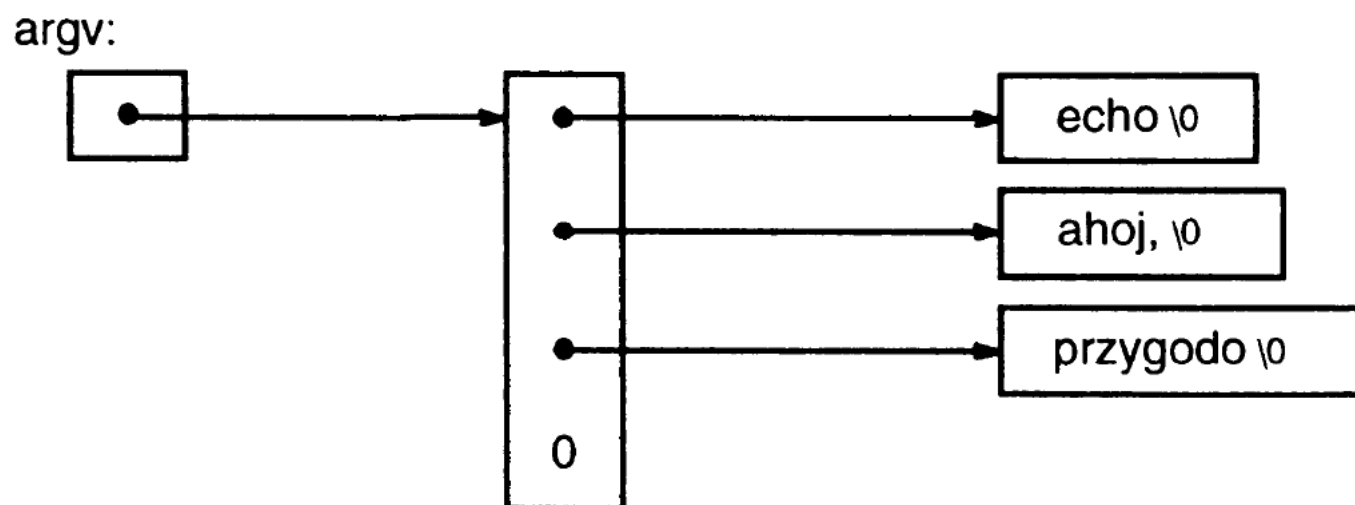
W chwili wywołania, funkcja `main` otrzymuje **2 argumenty**:

- pierwszy (typu `int`) to liczba parametrów wywołania, zwyczajowo nazywana `narg` (ang. *number of arguments*)
- drugi — zwyczajowo `argv` (ang. *argument vector*) to tablica wskaźników znakowych, której kolejne komórki przechowują adresy napisów zawierających poszczególne argumenty wpisane w wierszu poleceń [*jak również nazwę programu — na początku i wskaźnik pusty — na końcu*].

Przykładowo, program "echo", który wypisuje argumenty z wiersza poleceń na standardowe wyjście, po wywołaniu:

```
$ echo ahoj, przygodo
```

otrzyma argument `narg` o wartości 3 oraz tablicę z elementami `argv[0] .. argv[2]` wskazującymi na następujące napisy:



[`argv[narg]` zawiera zawsze **wskaźnik pusty: NULL** $\Leftrightarrow$ synonim 0.]

Pierwsza wersja: traktujemy `argv` jako tablicę wskaźników:

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

```
/* echo argumentów wywołania: Wersja 1 */
```

```
int main(int nargs, char *argv[])
```

```
{  
    int i;  
    for (i = 1; i < nargs; i++)  
        printf("%s%s", argv[i], (i<nargs-1)?" ":"");  
    printf("\n");  
    return 0;  
}
```

Druga wersja (zaawansowana) — argv to także synonim wskaźnika na wskaźnik znakowy:

```
#include <stdio.h>

/* echo argumentów wywołania: Wersja 2 */
int main(int narg, char **argv)
{
    while (--narg > 0)
        printf("%s%s", *++argv, (narg>1)?" ":"");
    printf("\n");
    return 0;
}
```

Bezpośrednio po uruchomieniu programu ($\Rightarrow$ wywołaniu funkcji `main`) wartość `argv` wskazuje na pierwszy element (`argv[0]`) w tablicy wskaźników (powiązany z napisem: `./echo`).

Operacja zwiększenia wskaźnika o 1 (`++argv`) przesuwa wskaźnik z elementu `argv[0]` do elementu `argv[1]`.

W każdym kolejnym powtórzeniu pętli `while` przesuujemy zatem wskaźnik `argv` do kolejnego *napisu / argumentu-wiersza-poleceń*, (dereferencja `*argv` zwróci wskaźnik do *pierwszego znaku* wspomnianego napisu).

Jednocześnie — w każdym powtórzeniu pętli — zmniejszamy wartość `narg` o 1, dopóki jest ona (*po zmniejszeniu!*) > 0 .

[Tym sposobem, wypisanych zostanie `narg-1` argumentów, kolejno od `argv[1]` do `argv[narg-1]`; po każdym za wyjątkiem ostatniego dodatkowo pojawi się spacja. Białe znaki są pomijane.]

Instrukcja wypisująca argumenty i spacje może jeszcze zostać zastąpiona nieco krótszą wersją:

```
printf((narg>1) ? "%s " : "%s", *++argv);
```

gdzie korzystamy z faktu, że pierwszy argument funkcji `printf` (zawierający *specyfikacje przekształcenia*) również może być — ***jak każdy argument każdej funkcji*** — wyrażeniem wymagającym wykonania obliczeń.

W kolejnym przykładzie, rozważymy program będący uproszczoną wersją polecenia `cat` systemu Unix. W szczególności,

```
$ cat a.c b.c
```

wypisuje na standardowe wyjście zawartość plików `a.c` i `b.c`.

[***Zatem aby np. dokleić b.c do a.c, piszemy: \$ cat a.c b.c > a.c***]

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>  /* zob. funkcja exit */

/* Sklejanie plików – wg Kernighan&Ritchie, 1994 */
int main(int narg, char *argv[])
{
    FILE *fp;
    void filecopy(FILE *, FILE *);  /* kopiuje plik */
    char *prog = argv[0];  /* nazwa programu */

    if ( narg == 1 )  /* kopiuj standardowe wejście */
        filecopy(stdin, stdout);
    else {  /* c.d.n. */
```

```

/* c.d. "else" <=> (narg > 1) */
while (--narg>0)
    if (NULL==(fp=fopen(*++argv,"rb"))) {
        fprintf(stderr, "%s: cannot open %s\n",
                prog, *argv);
        exit(1);
    } else { /* przypadek bez błędów: */
        filecopy(fp, stdout);
        fclose(fp);
    }
}

if (ferror(stdout)) {
    fprintf(stderr, "%s: stdout error\n", prog);
    exit(2);
}

exit(0);
}

```

Ponownie, użyliśmy strumienia błędów (`stderr`) aby komunikaty o błędach trafiały ***zawsze na ekran*** (*również w przypadku, gdy wyjście programu jest przekierowane do pliku*).

Pierwszym nowym elementem jest funkcja standardowa `exit`:

Wewnątrz funkcji `main` instrukcja `exit(wyrażenie);`

jest równoważna instrukcji: `return wyrażenie;`

ma jednak tę przewagę, że pozwala natychmiast przerwać działanie programu, ***także w środku wykonywania innej funkcji***.

[**Argument funkcji** `exit` zostanie przekazany do procesu, który wywołał program; funkcja `exit` automatycznie wywołuje `fclose` dla wszystkich otwartych plików i wypisuje dane w buforach.]

Drugi nowy element to funkcja `ferror` zadeklarowana jako:

```
int ferror(FILE *fp);
```

Funkcja `ferror` zwraca wartość niezerową, gdy dla strumienia `fp` wystąpi jakiś błąd. [*Podobna funkcja: `int feof(FILE *)`*]

[*Błędy dotyczące standardowego wyjścia* są raczej rzadkie (np. *przepełnienie partycji dysku*), w poważnym programie musimy jednak zadbać o zwracanie wartości opisującej taki stan.]

Ostatni element — **funkcja kopiująca pliki** (zob. [wyklad07.pdf](#)):

```
void filecopy(FILE *ifp, FILE *ofp)
{
    int c;
    while (EOF != (c=getc(ifp)))    putc(c, ofp);
}
```

Wygodna obsługa błędów

W bibliotece standardowej C mamy nagłówek `<assert.h>`, w którym zdefiniowano użyteczne makro:

```
void assert(int expression);
```

Jeśli argument `expression == 0` (wskaźnik NULL będzie automatycznie zrzutowany, podobnie znak pusty `'\0'`) funkcja `assert` wypisuje komunikat o błędzie i przerywa działanie programu. Jeśli `expression != 0` — nic się nie dzieje.

Typowy komunikat o błędzie wygląda tak:

```
prog: some_file.c:16: some_func: Assertion `val == 0'
failed.
```

UWAGA o maskach w systemie Unix:

Polecenia systemowe, jeśli to tylko możliwe — przyjmują jako argumenty tzw. *maski*. Przykładowo,

```
$ cat *.c
```

wyświetli zawartość wszystkich plików (w *bieżącym katalogu*), których nazwy kończą się wzorcem ".c", zaś

```
$ cat *.c > all-souce-files.c
```

sklei zawartość tych plików i zapisze w jednym pliku.

Nasz program oczywiście nie będzie rozwijał masek automatycznie, możemy jednak napisać:

```
$ ./a.out `ls *.c`
```

Wówczas, system operacyjny przekaze wynik polecenia (`ls *.c`) jako listę argumentów do naszego programu.

***Backquote* (`) to nie apostrof (') !!!**



Trzecim przykładem, ilustrującym zastosowanie *argumentów wiersza poleceń*, będzie ulepszona wersja programu wypisującego wiersze zawierające szukany wzorzec (por. [wyklad05.pdf](#)).

Tym razem, podążymy za schematem polecenia `grep` systemu Unix — szukany wzorzec będzie ***pierwszym argumentem*** wywołania programu.

Dla dalszego *usprawnienia działania* programu, użyjemy funkcji biblioteki standardowej: `strstr(s,t)` zadeklarowanej w nagłówku `<string.h>`, która zwraca wskaźnik do pierwszego wystąpienia ciągu znaków `t` w napisie `s` lub `NULL`, jeśli szukany wzorzec (`t`) nie został znaleziony w napisie (`s`).

```

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#define MAXLINE 1000 /* maks. dlugosc wiersza */

/* ==> Wypisz wiersze zawierające wzorzec, podany
      jako argument wywołania programu <== */
int main(int narg, char *argv[])
{
    char line[MAXLINE+1]; /* + miejsce na '\0' */
    int found = 0;

    if (narg != 2)
        fprintf(stderr, "USAGE: %s pattern\n", argv[0]);
    else { /* c.d.n. */

```

```
/* c.d. "else" <=> (narg == 2) */

while (NULL != fgets(line, MAXLINE+1, stdin))
    if (NULL != strstr(line, argv[1])) {
        printf("%s", line);
        /* '\n' jest już zawarte w line (!) */
        found++;
    }
}
return found;
}
```

Argumenty opcjonalne wywołania programu

Polecenia systemu *Unix* najczęściej posiadają parametry (lub *przełączniki*) opcjonalne, podawane po znaku ' - '.

Przykładowo,

```
$ ls *.c
```

wypisze tylko nazwy plików pasujących do *maski* "**.c*", zaś

```
$ ls -l *.c
```

wypisze szczegółowe informacje o tych plikach:

```
-rw-r--r--+ 1 adamr  staff  145 Nov 14 19:42 co-robi.c
-rw-r--r--+ 1 adamr  staff  202 Oct 22 00:40 silnia.c
-rw-r--r--  1 adamr  staff  820 Dec 16 00:53 sklej.c
-rw-r--r--+ 1 adamr  staff  822 Nov 14 13:11 wzorzec.c
```

[**W maskach:** * = dowolny ciąg (*nie-białych*) znaków; ? = 1 znak.]

Pokażemy teraz, jak zmodyfikować *program* *wyszukujący wzorzec* tak, aby posiadał dwa opcjonalne przełączniki:

- x** (ang. *eXcept*) powoduje, że program wypisuje wszystkie wiersze **oprócz** tych zawierających wzorzec.
- n** (ang. *numbering*) podaje numery wypisywanych wierszy

Chcemy, aby przełączniki można było podawać **w dowolnej kolejności**; użyteczną możliwością jest także **grupowanie opcji**:

```
$ ./a.out -nx wzorzec
```

=> powinny zostać wypisane wiersze niezawierające wzorca, poprzedzone numerami.

[*Naturalnie, program wywołany bez opcji powinien działać jak poprzednio, tj. wypisywać wiersze zawierające wzorzec, bez numeracji.*]

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#define MAXLINE 1000 /* maks. dlugosc wiersza */

/* ==> Wypisz wiersze zawierające wzorzec, podany
      jako argument wywołania programu <== */
int main(int narg, char *argv[])
{
    char *prog = argv[0]; /* nazwa programu */
    char line[MAXLINE+1];
    long lineno = 0; /* numer wiersza */
    int c, exc = 0, num = 0, found = 0;

    /* c.d.n. */
```

```
while (--narg > 0 && (*++argv)[0] == '-')
    while ((c = *++argv[0])) /* <=> c!='\0' */
        switch (c) {
        case 'x':
            exc = 1; break;
        case 'n':
            num = 1; break;
        default:
            fprintf(stderr, "%s: illegal option "
                        "-%c\n", prog, c);
            narg = 0;
            found = -1;
            break;
        }
```

```
if (narg != 1)
    fprintf(stderr, "USAGE: %s -x -n pattern\n",
            prog);
else
    while (NULL != fgets(line, MAXLINE+1, stdin)) {
        lineno++;
        if ( exc != (NULL!=strstr(line,*argv)) ) {
            if (num) printf("%8ld: ", lineno);
            printf("%s", line);
            found++;
        }
    }
    return found;
}
```

Z każdym powtórzeniem pierwszej pętli `while`, wartość `narg` zostaje zmniejszona o 1, a wartość `argv` zwiększona o 1.

Jeśli nie wystąpiły błędy, na końcu trafiamy na argument, którego pierwszy znak (`*argv[0]` lub `**argv`) nie jest już znakiem `'-'`.
A zatem `—` jest to argument „obowiązkowy” (nasz wzorzec), reprezentowany przez `argv[0]` (lub `*argv`).

Warto podkreślić, że nawiasy w wyrażeniu `(*++argv)[0]` są konieczne, ponieważ `[]` wiąże mocniej niż `++`, a zatem bez nawiasów, de facto dostalibyśmy: `*++(argv[0])`

Korzystamy z tego w drugiej pętli `while`, która przegląda kolejne znaki *napisu* `argv[0]` — zwiększamy zatem wskaźnik `argv[0]`, natomiast `argv` pozostaje niezmienny (!)

Przykładowo, wywołanie programu:

```
$ ./a.out -n int\ < wzorzec2.c
```

wyszuka wzorzec `"int "` (spację wprowadzamy pisząc `'\ '`)
w pliku źródłowym tego programu (`wzorzec2.c`).

Wynikiem będzie:

```
8: int main(int narg, char *argv[])  
12:     int c, exc = 0, num = 0, found = 0;
```

Otrzymaliśmy zatem linie kodu źródłowego, zawierające deklaracje obiektów typu `int`.

Wskaźniki do funkcji

Funkcje w języku C nie są zmiennymi, można jednak definiować **wskaźniki do funkcji** (*taki wskaźnik przechowuje adres fragmentu kodu wykonywalnego, który jest realizacją danej funkcji*).

Wskaźniki do funkcji już są zmiennymi, mogą być zatem **przypisywane, grupowane w tablicach, przekazywane do funkcji**, jak również **zwracane przez funkcje**.

[*Nie istnieje jednak żadna „arytmetyka wskaźników do funkcji”, nie można również przydzielić/zwolnić pamięci za ich pośrednictwem.*]

Deklaracja wskaźnika do funkcji (jako zmiennej!) — wg szablonu:

*typ-powrotu (*nazwa-wskaźnika) (typy-argumentów) ;*

dodatkowe nawiasy otaczające *nazwę* są konieczne, bez nich zadeklarowałibyśby po prostu *funkcję zwracającą wskaźnik*.

Przykładowo, jeśli gdzieś w programie zdefiniujemy funkcję:

```
void fun(int a)
{
    printf("Moja ulubiona liczba to %d\n", a);
}
```

a następnie w funkcji main pojawi się deklaracja:

```
void (*fun_ptr)(int) = &fun;
```

wówczas, naszą funkcję możemy wywołać na dwa (równoważne!) sposoby: po pierwsze, **wprost**:

```
fun(7);
```

lub też **przez wskaźnik**:

```
(*fun_ptr)(7);
```

Podobnie (*trochę podobnie ...*) jak w przypadku tablic, nazwa funkcji jest także **synonimem wskaźnika** do funkcji.

[*Konwencja jest tutaj **trochę mniej przejrzysta**: W przypadku tablicy, nazwa była synonimem wskaźnika do pierwszego elementu, a nie do całej tablicy; TUTAJ brak takiego rozróżnienia ...*]

Dla naszej funkcji (`fun`) poprawna będzie także deklaracja wskaźnika do funkcji:

```
void (*fun_ptr)(int) = fun;    /* usunięto & (!)*/
```

i wywołanie przez wskaźnik w postaci:

```
fun_ptr(10);    /* usunięto operator * (!) */
```

*Jak widać, użyte poprzednio operatory & i * nie są konieczne; wybór konwencji — jak zawsze — jest kwestią indywidualnych upodobań.*

Tablice wskaźników funkcji

W analogii do zwykłych wskaźników, wskaźniki na funkcje także mogą być **grupowane w tablice**.

W przykładzie poniżej, wybieramy jedno z 3 działań arytmetycznych na liczbach a i b (*dodawanie, odejmowanie, lub mnożenia*).

[zob. <https://www.geeksforgeeks.org/function-pointer-in-c/>]

```
#include <stdio.h>

void add(int a, int b)
{ printf("Addition is %d\n", a+b); }

void subtract(int a, int b)
{ printf("Subtraction is %d\n", a-b); }

void multiply(int a, int b)
{ printf("Multiplication is %d\n", a*b); }
```

```
int main()  
{  
    /* Tablica wskaźników funkcji: fun_ptr_arr */  
    void (*fun_ptr_arr[])(int, int) =  
        {add, subtract, multiply};  
    int ch, a = 15, b = 10;  
  
    printf("Enter Choice: 0 for add, "  
        "1 for subtract and 2 for multiply\n");  
    scanf("%d", &ch);  
  
    if (ch < 0 || ch > 2) return 1;  
  
    (*fun_ptr_arr[ch])(a, b);  
  
    return 0;  
}
```

Wskaźniki do funkcji jako argumenty funkcji

Podobnie jak zwykłe *wskaźniki*, także wskaźniki do funkcji mogą być **przekazywane jako argumenty** lub **zwracane** przez funkcje.

Taki mechanizm w wielu sytuacjach pozwala uniknąć niekorzystnego zjawiska tzw. **redundancji kodu**.

Redundancja kodu polega na tym, że *skomplikowana* procedura (np. minimalizacja funkcji, poszukiwanie miejsce zerowych, albo — *znany z poprzednich wykładów* — algorytm quicksort) musi zostać przepisana w kilku, niemal identycznych wersjach, wyłącznie po to aby np. *obliczać wartości różnych funkcji* do minimalizacji, albo wywoływać *funkcje porównujące* obiekty do posortowania.

W takich sytuacjach, zdecydowanie lepiej jest napisać jedną funkcję, wykonującą naszą procedurę, której parametrem jest *wskaźnik na funkcję* (np. porównującą 2 obiekty).

[*Taką funkcję możemy później **wywołać kilkakrotnie**, przekazując jej np. wskaźniki do różnych funkcji porównujących.]*

Potrzeba unikania redundancji kodu wynika wprost z zasady:

==> „*Pisanie programu nigdy się nie kończy.*”

Kiedy znajdzie potrzeba *ulepszenia* implementacji kluczowego algorytmu — zmiany będziemy wprowadzać w jednej wersji, a nie w kilku podobnych.

Elementarny przykład: Funkcja `wrapper()` operuje na argumencie `void fun()` — wskaźniku powiązanym kolejno z dwiema różnymi funkcjami zewnętrznymi.

[zob. <https://www.geeksforgeeks.org/function-pointer-in-c/>]

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

```
void fun1() { printf("I am fun1\n"); }
```

```
void fun2() { printf("I am fun2\n"); }
```

```
/* Funkcja wywołująca inne f-cje przez wskaźnik */
```

```
void wrapper(void (*fun)()) { fun(); }
```

```
int main()
```

```
{ wrapper(fun1);
```

```
  wrapper(fun2);
```

```
  return 0;
```

```
}
```

Inny (**równoważny!**) zapis funkcji `wrapper()` oraz `main()`
[niekorzystający z synonimów wskaźników do funkcji]:

```
void wrapper(void (*fun)())  
{  
    (*fun)();  
}
```

```
int main()  
{  
    wrapper( &fun1 );  
    wrapper( &fun2 );  
    return 0;  
}
```

Jeśli zachodzi potrzeba, aby *funkcja przekazywana przez wskaźnik* do innej funkcji także miała swoje argumenty, często możemy ją tak zaprojektować, aby argumentami były ***wskaźniki ogólne*** (`void*`).

Mechanizm ten wykorzystuje m.in. funkcja `qsort` z biblioteki standardowej, zadeklarowana w nagłówku `<stdlib.h>` w następujący sposób:

```
void  
qsort(void *base, size_t nel, size_t width,  
      int (*compar)(const void *, const void *));
```

Argumentami są: *tablica do posortowania* (`base`), *liczba elementów* (`nel`), *rozmiar 1 elementu* (`width`), oraz wskaźnik do funkcji wykonującej porównanie 2 elementów (`compar`).

Przykład: sortujemy tablicę liczb typu double

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

int comp(const void *a, const void *b)
{
    double x = *(double *)a, y = *(double *)b;

    if ( x>y ) return 1;
    else if (x<y) return -1;
    else return 0;
}
```

```
int main()  
{  
    double arr[] = {10.0, 10.0/2, 10.0/3, 3*4, 9};  
    int i, n = sizeof(arr)/sizeof(arr[0]);  
  
    qsort(arr, n, sizeof(double), comp);  
  
    for (i=0; i<n; i++)  
        printf((i < n-1) ? "%g " : "%g\n", arr[i]);  
    return 0;  
}
```

Ciekawostka:

A jeśli zajdzie potrzeba posortowania par liczbowych, (x,y) ułożonych w jednej tablicy, np. według wartości pierwszej współrzędnej, tzn: `tab[] = { x1, y1, x2, y2, x3, y3, ... }` ?

Wówczas, funkcja porównująca może wyglądać tak:

```
int comp_x(const void *a, const void *b)
{
    double (*px)[2] = (double (*)[2])a,
           (*py)[2] = (double (*)[2])b;
    double x = (*px)[0], y = (*py)[0];
    if ( x>y ) return 1;
    else if (x<y) return -1;
    else return 0;
}
```

Wyrażenie `(double (*)[2])a` to *rzutowanie* wskaźnika ogólnego na wskaźnik do tablicy 2-elementowej typu `double`. Z kolei wyrażenie `(*px)[0]` daje 1-szy element tablicy wskazywanej przez `px`.

Dalej, wywołanie funkcji `qsort` może wyglądać tak:

```
qsort(tab, N, 2*sizeof(double), comp_x);
```

Co ciekawe, opisany sposób zadziała równie dobrze, jeśli np. `tab` będzie tablicą liczb zespolonych podwójnej precyzji:

```
struct complex {  
    double re;  
    double im;  
} tab[N];
```

Struktury

Ważnym *typem danych* w języku C są struktury: **struktura** to jedna lub kilka zmiennych, które mogą być różnych typów, połączonych w tak, aby możliwe były odwołania za pomocą **wspólnej nazwy**.

Naturalnym zastosowaniem struktur są wszelkie bazy danych; pojedynczy **rekord** może być np. strukturą zawierającą *imię*, *nazwisko*, *adres*, i *numer telefonu* danej osoby:

```
struct rekord {  
    char *fnam, *snam, *addr;  
    int phone;  
} r = {"Jan", "Kowalski", "ul. Osobliwa 1", 5568};
```

Po takiej deklaracji, fraza: `struct rekord` może być dalej używana jak nazwa typu, możemy np. deklarować zmienne:

```
struct rekord a, b, c;
```

dokonywać przypisań: `a = r;` jak również *przekazywać struktury do funkcji* i *definiować funkcje zwracające struktury*; struktury można także zagnieżdżać.

[*Jeśli jednocześnie z deklaracją struktury zadeklarujemy wszystkie zmienne, identyfikator struktury (tutaj: **rekord**) można pominąć.]*

Odwołania do składowych (pól) struktury mają postać:

`nazwa-struktury.nazwa-pola`

Przykład: `printf("%s %d\n", a.snam, a.phone);`