Tworzenie oprogramowania dla urządzeń wbudowanych

Paweł Malczyk

Zakład Teorii Maszyn i Robotów
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska

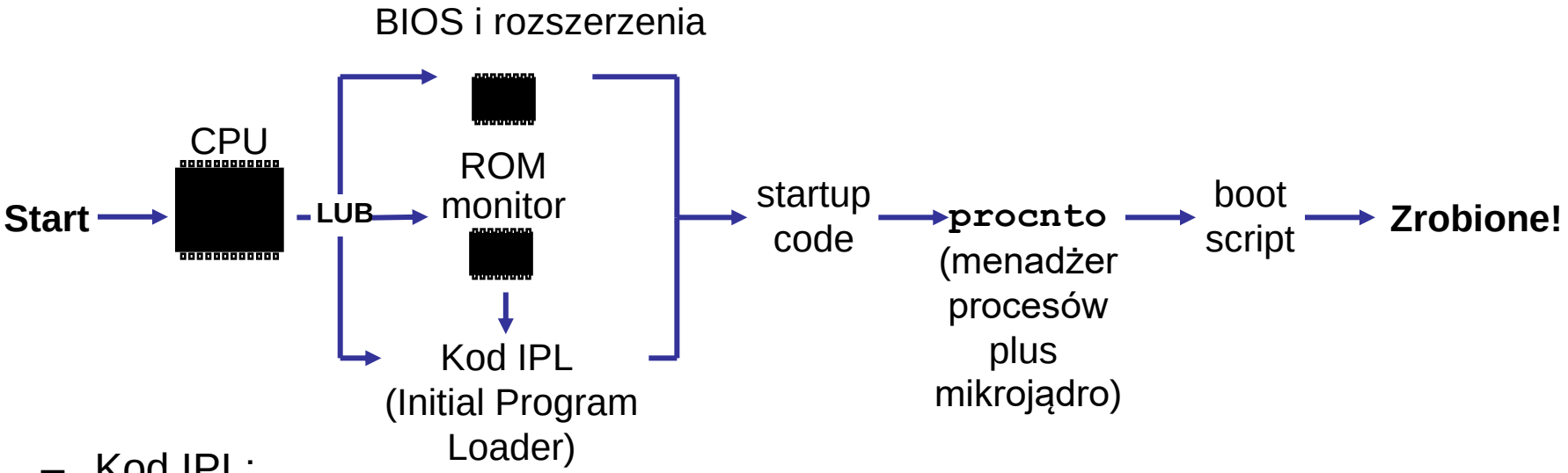
Plan prezentacji

- Proces rozruchu i ładowania systemu operacyjnego QNX Neutrino
- Budowanie obrazu systemu QNX Neutrino na platformie typu BeagleBone Black
- Komputer BeagleBone Black
- Budowanie obrazu systemu z QNX Momentics

Proces rozruchu i ładowania systemu operacyjnego QNX Neutrino

Kolejność rozruchu

- Kolejność rozruchu (bootowania):

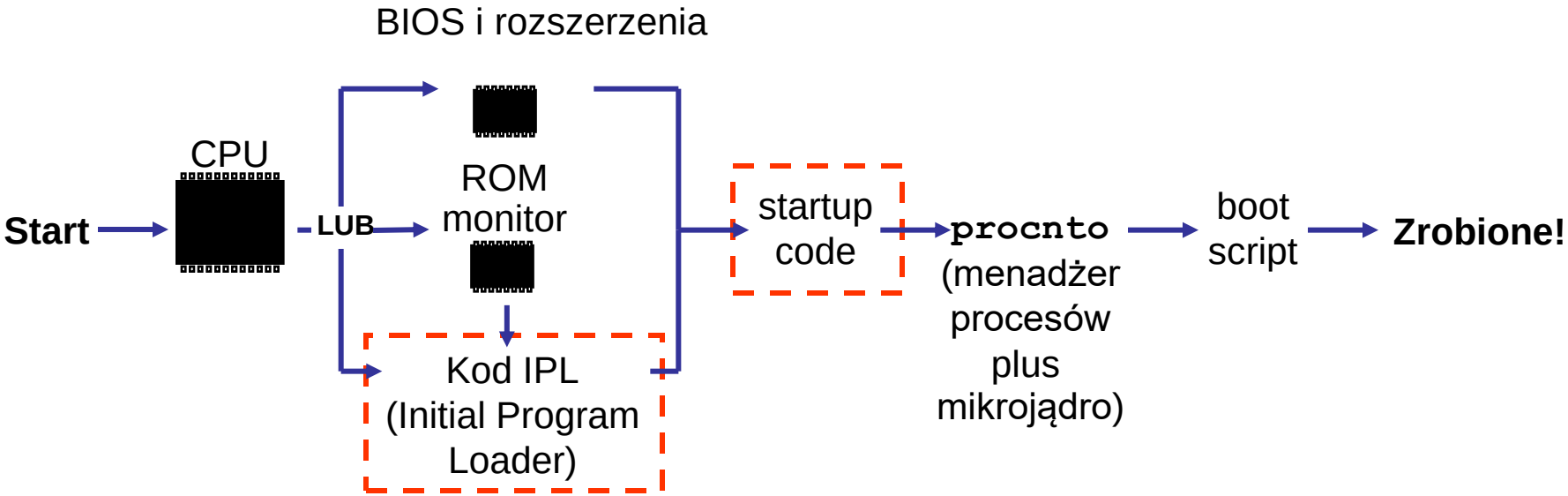


  - Kod IPL:
    - CPU wybiera kod IPL a następnie przechodzi do startup code
  - startup code:
    - Ustawia urządzenia i przygotowuje środowisko dla mikrojądra **`procnto`**
  - **`procnto`**:
    - Ustawia mikrojądro i ładuje skrypt boot script
  - boot script zawiera:
    - Sterowniki, procesy systemowe i użytkownika

Uwaga: BBB nie posiada BIOS-u. Do ładowania systemu używane są bootloader-y.

Skrypty rozruchowe (IPL) i inicjujące (startup code)

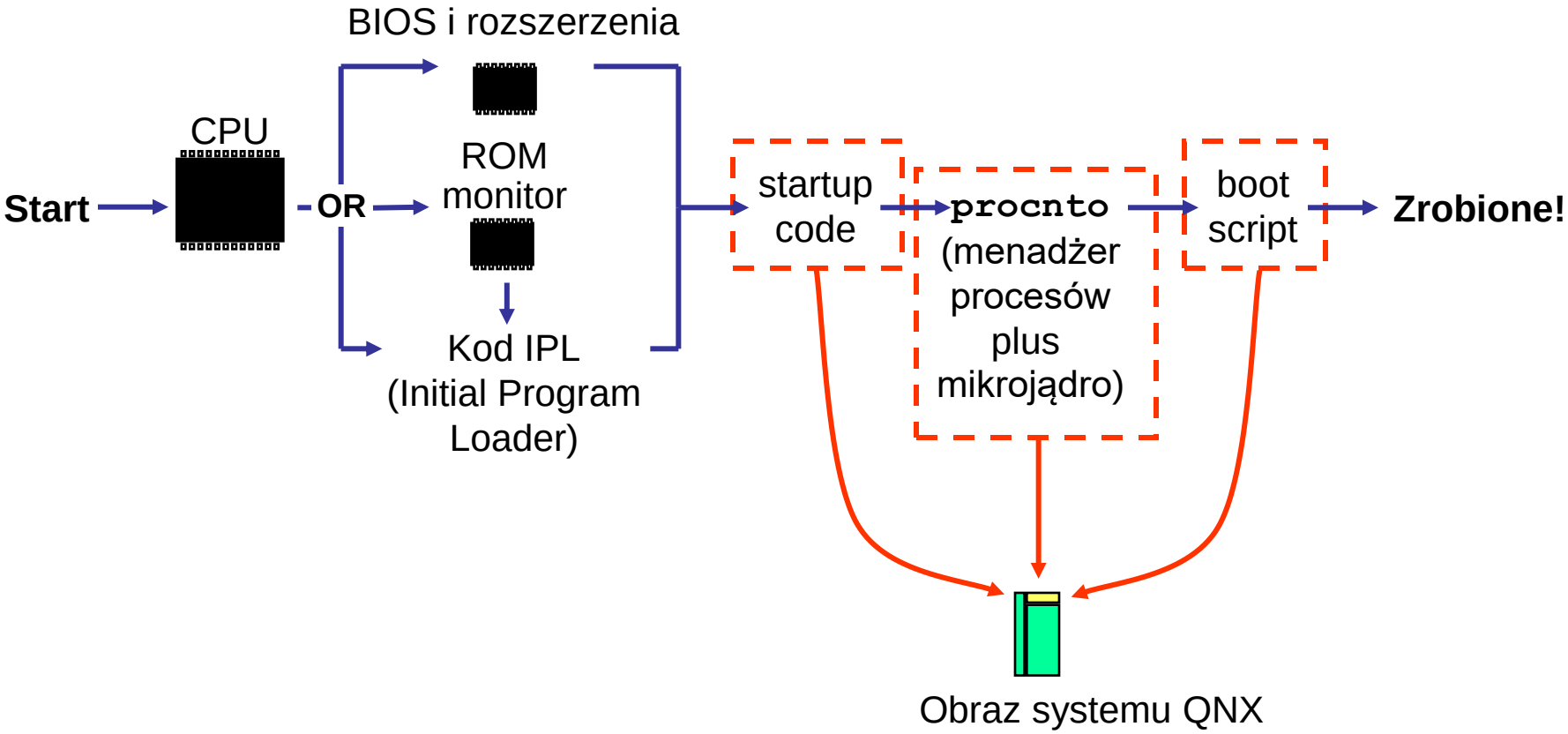
- IPL i startup code:



  - Skrypty rozruchowe IPL i inicjujące (startup code):
    - Są specyficzne dla określonych urządzeń wbudowanych
    - Są częścią pakietów Board Support Package (BSP)

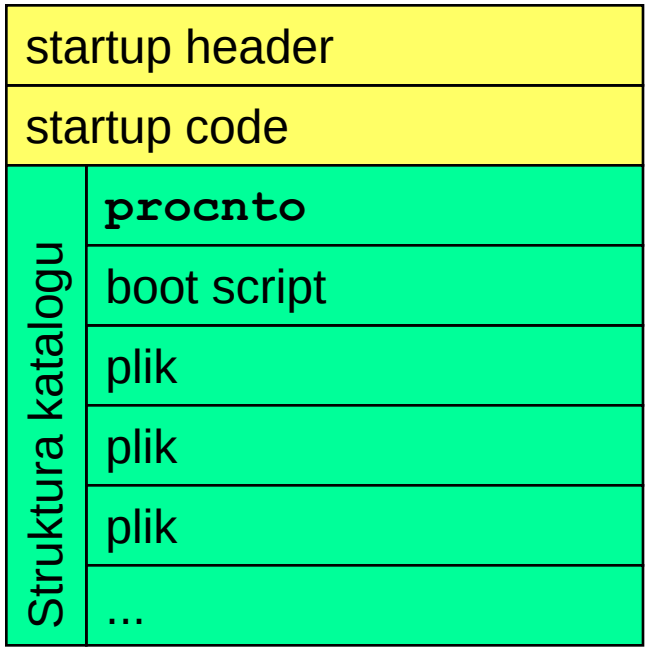
Co znajduję się w pliku obrazu systemu?

- Zawartość obrazu systemu:



Struktura pliku obrazu systemu

- Plik obrazu systemu operacyjnego (SO)
  - Zawiera wiele komponentów niezbędnych do inicjalizacji
  - Struktura pliku obrazu:



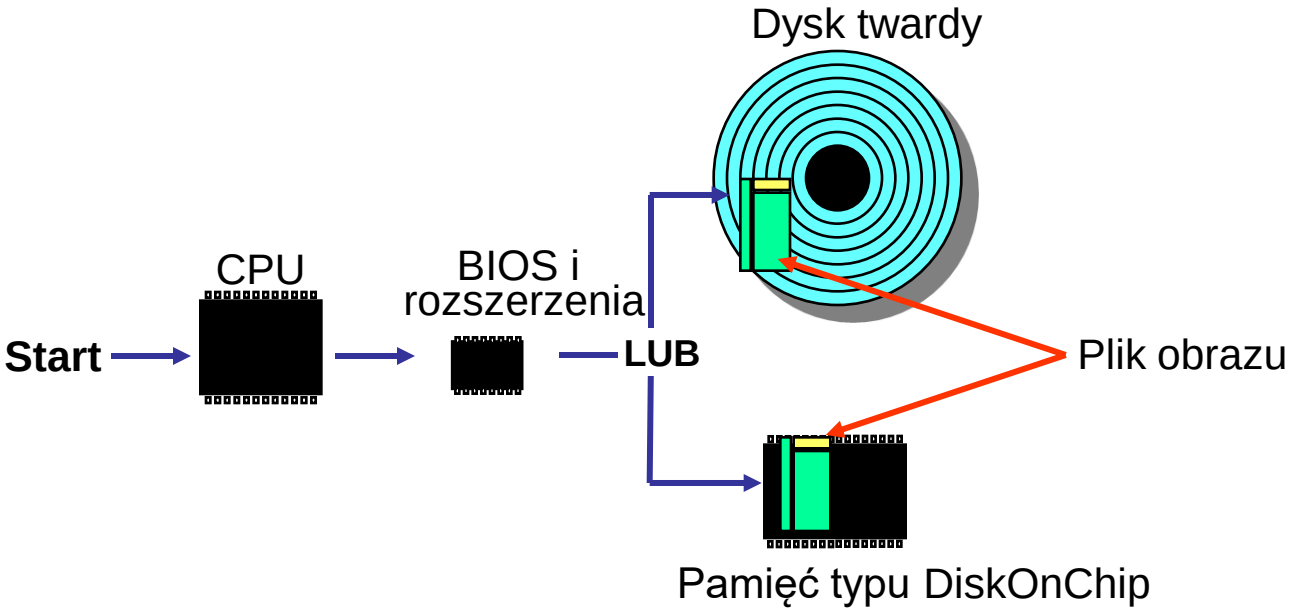
Przykładowe pliki:
- Sterowniki sieci,
- Stos TCP/IP,
- Sterowniki dysku twardego,
- Pliki konfiguracyjne

Sposoby inicjalizacji (bootowania)

- Możliwość inicjalizacji SO:
  1. ROM/flash
  2. Dysk twardy
  3. Sieć/połączenie szeregowe

Dysk twardy

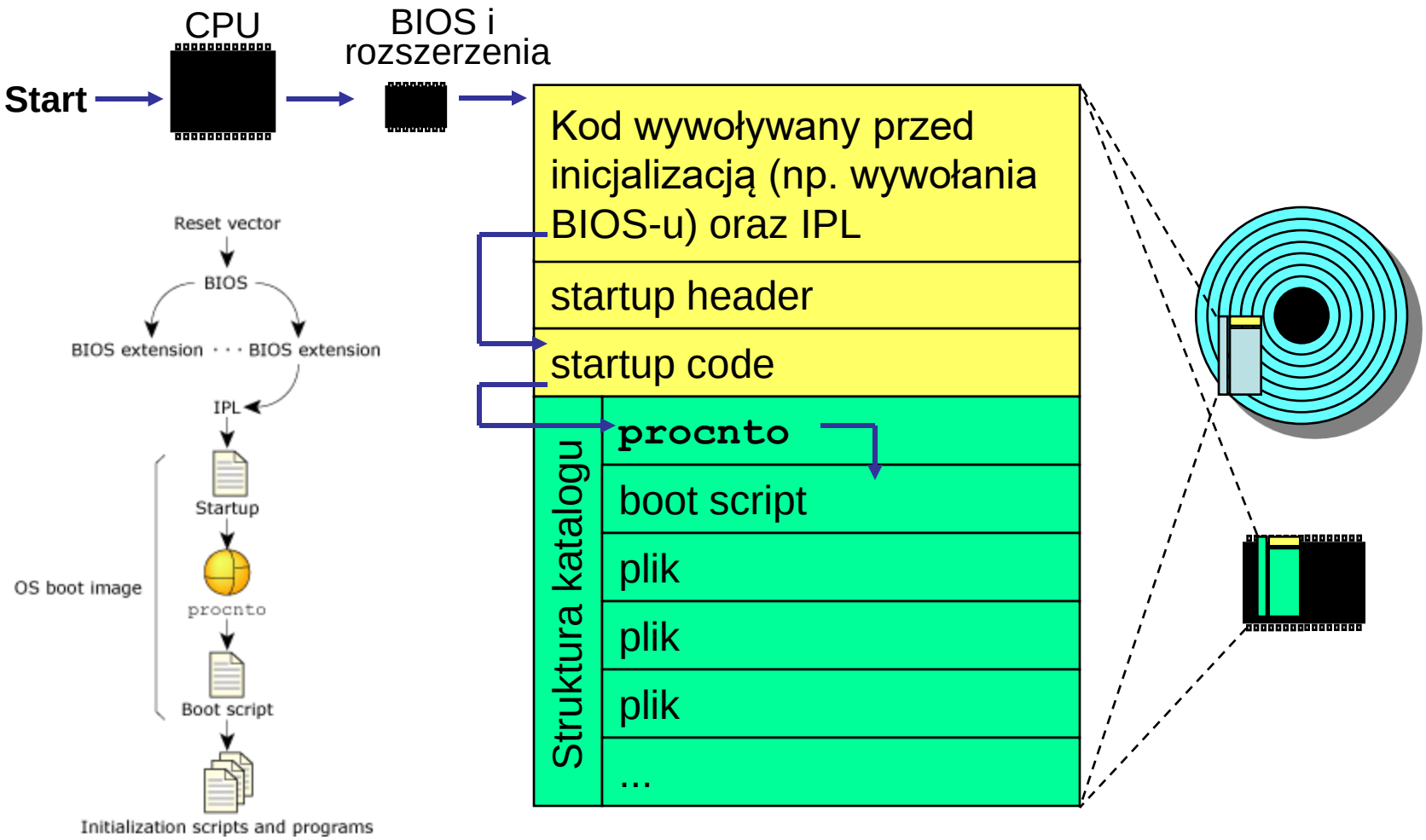
- Inicjalizacja SO z dysku twardego:



– Obraz SO jest ładowany do RAM-u za pomocą różnorodnych komponentów….

Dysk twardy

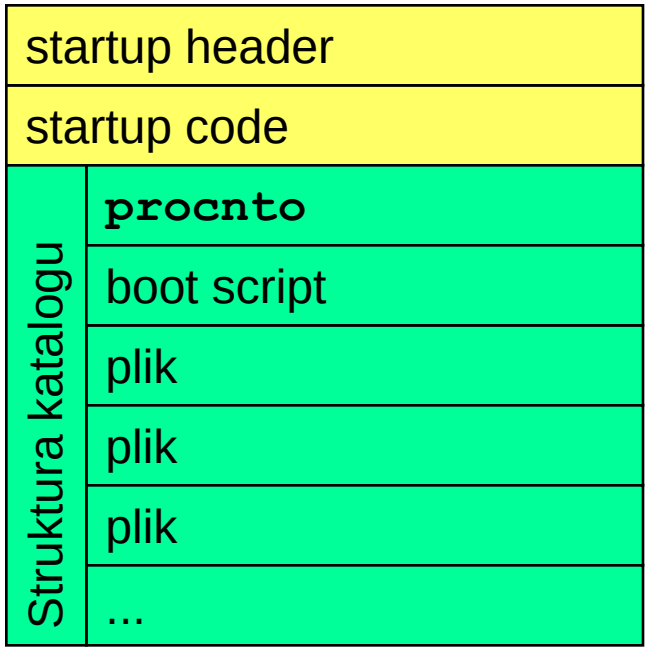
- Obraz systemu:



Budowanie obrazu systemu QNX Neutrino

Struktura pliku obrazu systemu

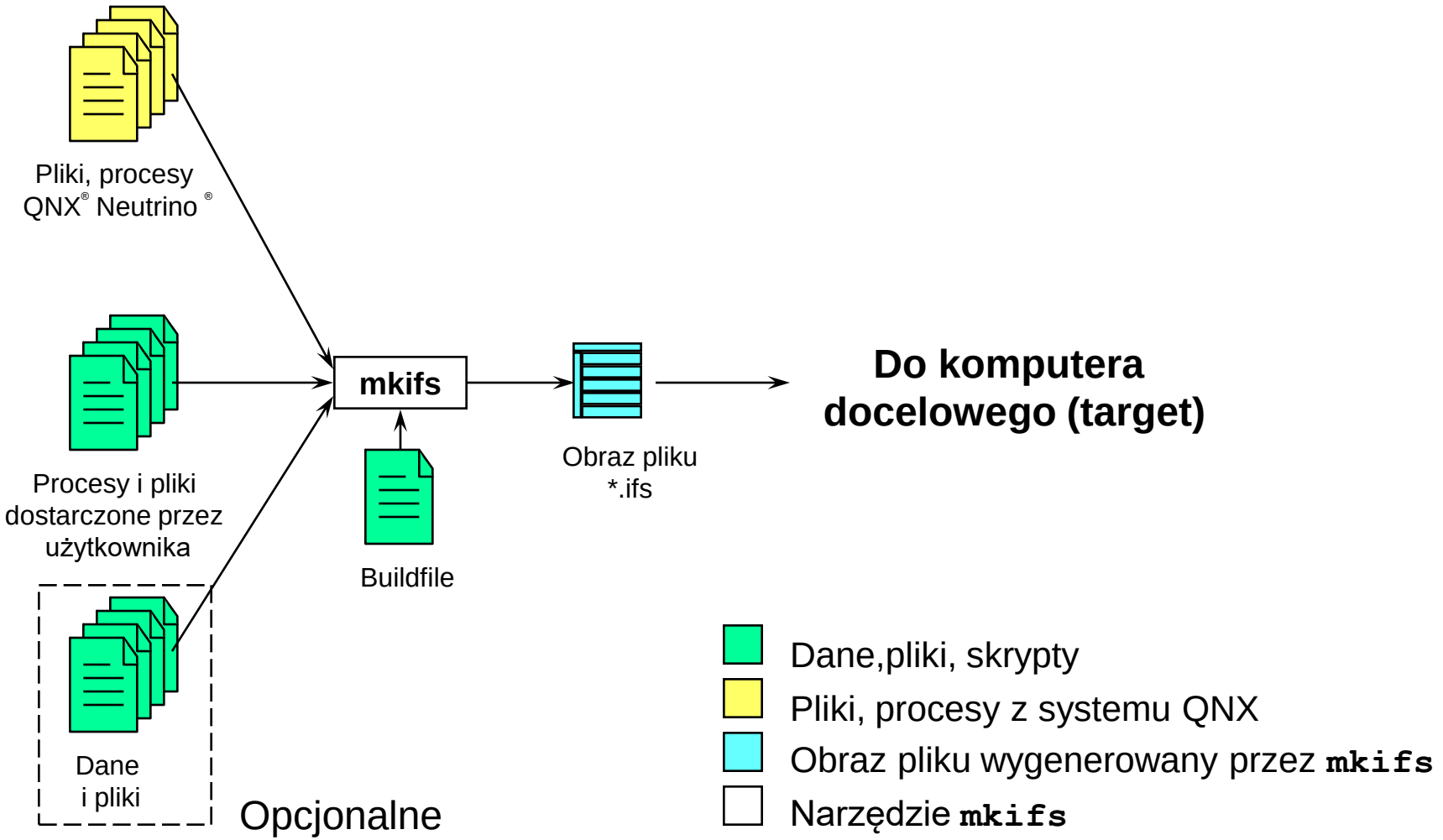
- Plik obrazu systemu operacyjnego (SO)
  - Zawiera wiele komponentów niezbędnych do inicjalizacji
  - Struktura pliku obrazu:



Przykładowe pliki:
- Sterowniki sieci,
- Stos TCP/IP,
- Sterowniki dysku twardego,
- Pliki konfiguracyjne

Po inicjalizacji pliki znajdują się w katalogu: **`/proc/boot`**

Schemat tworzenia obrazu systemu



Co zawiera obraz systemu?

- Skrypt startowy oraz mikrojądro z menadżerem procesów:

  `startup-*`

  `procnto`

- Pozostałe komponenty:

  sterowniki and menadżery, e.g.: **`io-net`**, **`devc-ser*`**, **`devb-eide`**

  `esh` (embedded shell), **`ksh`**

  pliki wykonywalne użytkownika i dane

Skrypt buildfile

- Czym jest plik buildfile?
  - Określa pliki/polecenia, które będą dostępne w obrazie,
  - Porządek wywołania podczas rozruchu,
  - Procesy linii wywoływane z wiersza poleceń, zmienne środowiskowe
  - Plik zawiera opcje ładowania plików wykonywalnych

Plik buildfile dla minimalnego systemu min_image.ifs

```
# Plik Buildfile dla minimalnego systemu
[virtual=x86,bios +compress] boot={
        startup-bios
        PATH=:/proc/boot:/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
        LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot:/lib:/usr/lib:/lib/dll
procnto -vv
}

[+script] startup-script={
        display_msg "Moj obraz systemu QNX..."
        devc-con &
        reopen /dev/con1
        hello
}

libc.so
[type=link] /usr/lib/ldqnx.so.2=/proc/boot/libc.so
[code=uip data=copy perms=+r,+x]
devc-con
hello
```

Bootstrap file (skrypt inicjujący)

Startup script (skrypt ładujący procesy, usługi, urządzenia)

Reszta pliku buildfile (biblioteki, programy, ustawienia)

bootscript

Skrypt buildfile – format

- Format buildfile:

```
atrybut nazwa_pliku zawartość
```

- Skrypt może zawierać puste linie i komentarze zaznaczane za pomocą znaku „#”
- Dwa typy atrybutów:
  - - boolowski, np. `[+atrybut]` lub `[-atrybut]`
  - - wartość, np. `[atrybut=wartość]`
- Możliwość utworzenia pliku inline

```
readme = {
   W systemie plików zostanie utworzony plik
   dostępny w /proc/boot/readme.
}
```

Skrypt buildfile – komendy wbudowane

- Komendy wbudowane:
  - **`display_msg`** wyświetla tekst
  - **`procmgr_symlink`** link symboliczny, odpowiednik wywołania **`ln -s`**
  - **`reopen`** strumienie stdin, stdout, and stderr są przekierowane do określonego pliku
  - **`waitfor`** czeka aż powstanie określony plik

- Przykłady wywołań **`display_msg`**, **`reopen`** można znaleźć w skrypcie.

Plik buildfile dla minimalnego systemu min_image.ifs

```
# Plik Buildfile dla minimalnego systemu
[virtual=x86,bios +compress] boot={
        startup-bios
        PATH=:/proc/boot:/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
        LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot:/lib:/usr/lib:/lib/dll
procnto -vv
}

[+script] startup-script={
        display_msg "Moj obraz systemu QNX..."
        devc-con &
        reopen /dev/con1
        hello
}

libc.so
[type=link] /usr/lib/ldqnx.so.2=/proc/boot/libc.so
[code=uip data=copy perms=+r,+x]
devc-con
hello
```

Bootstrap file (skrypt inicjujący)

Startup script (skrypt ładujący procesy, usługi, urządzenia)

Reszta pliku buildfile (biblioteki, programy, ustawienia)

bootscript

Plik Bootstrap file (skrypt inicjujący)

```
# Plik Buildfile dla minimalnego systemu
[virtual=x86,bios +compress] boot={
        startup-bios
        PATH=:/proc/boot:/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
        LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot:/lib:/usr/lib:/lib/dll
procnto -vv
}
```

Bootstrap file (skrypt inicjujący)

Adresowanie pamięci

Architektura CPU

Dla układów z BIOS-em

Bootstrap file zawiera:

- atrybut

```
[virtual=x86,bios +compress]
```

Kompresja obrazu *.ifs

- nazwa pliku

```
boot
```

Nazwa pliku

- zawartość

```
startup-bios
```

Program startowy. Inicjalizuje sprzęt i wywołuje `procnto`

```
PATH=/proc/boot LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot procnto -vv
```

Zmienne środowiskowe

Mikrojądro

Reszta pliku buildfile

```
[+script] startup-script={
        display_msg "Moj obraz systemu QNX..."
        devc-con &
        reopen /dev/con1
        hello
}
```

Uruchom menadżer konsoli

Uruchom hello

Startup script (skrypt ładujący procesy, usługi, urządzenia)

```
libc.so
[type=link] /usr/lib/ldqnx.so.2=/proc/boot/libc.so
[code=uip data=copy perms=+r,+x]
devc-con
hello
```

Dowiązanie symboliczne

Pliki zawarte w systemie

Reszta pliku buildfile (biblioteki, programy, ustawienia)

Narzędzie **`mkifs`** szuka plików w następujących katalogach:

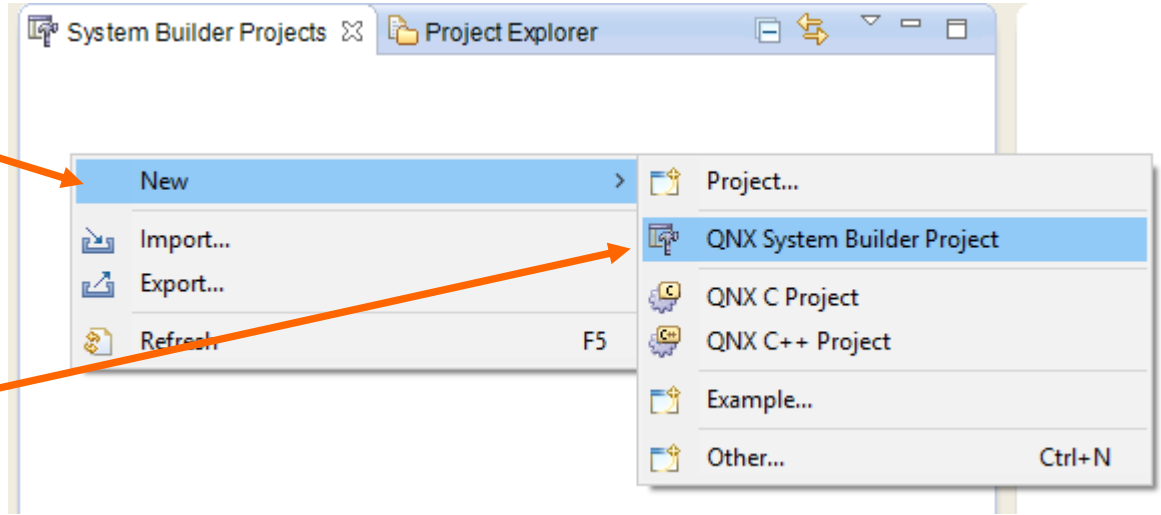
`${QNX_TARGET}\${PROCESSOR}/sbin` oraz
`…/usr/sbin`, **`…/boot/sys`**, **`…/bin`**, **`…/usr/bin`**, **`…/lib`**, **`…/lib/dll`**, **`…/usr/lib`**, **`…/usr/photon/bin`**

Budowanie obrazu systemu z QNX Momentics

Utworzenie obrazu w IDE

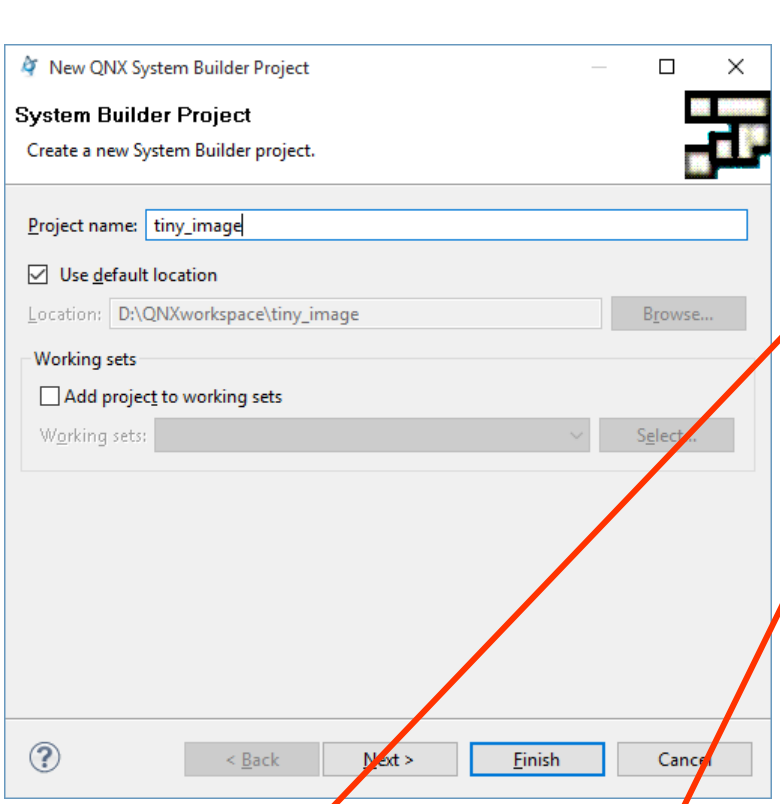
- Otwieramy IDE QNX Momentics i tworzymy projekt QNX System Builder Project

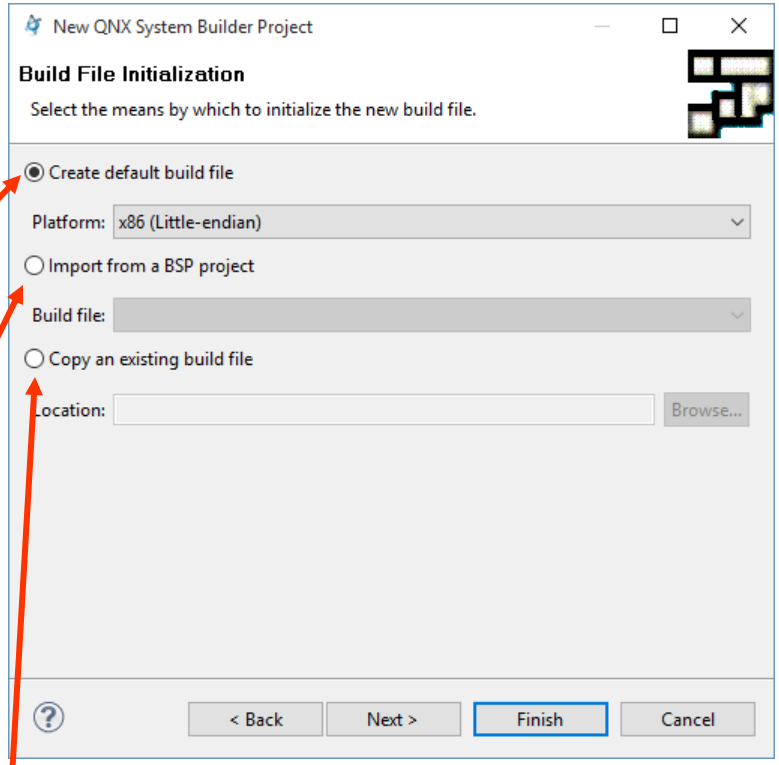
1. Menu **File** – **New**
2. Wybrać **QNX System Builder Project**
3. Wpisać nazwę projektu
4. Kliknąć Next…



Utworzenie obrazu w IDE Momentics

- Wybrać stosowną opcję:





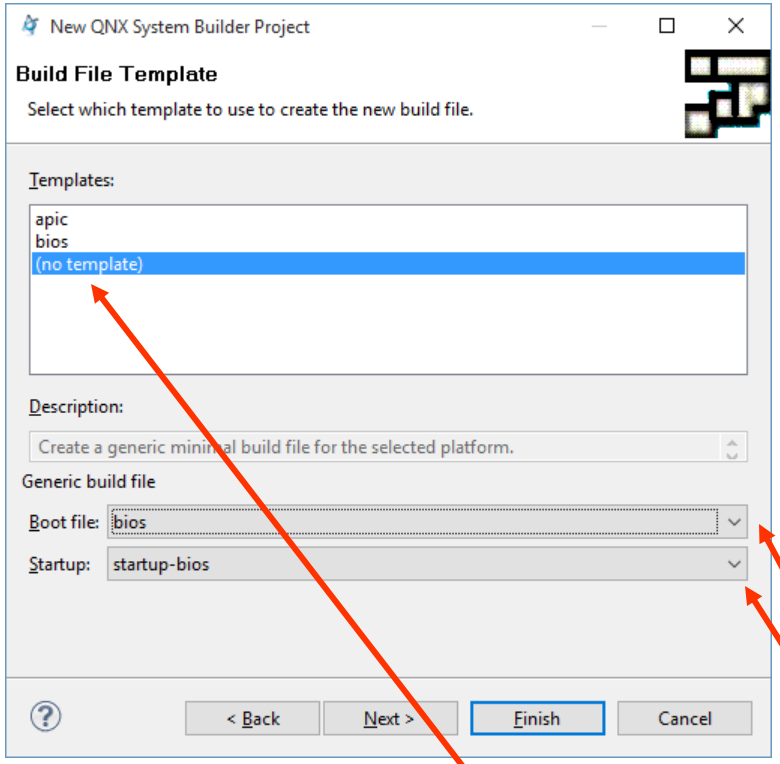
Start od zera

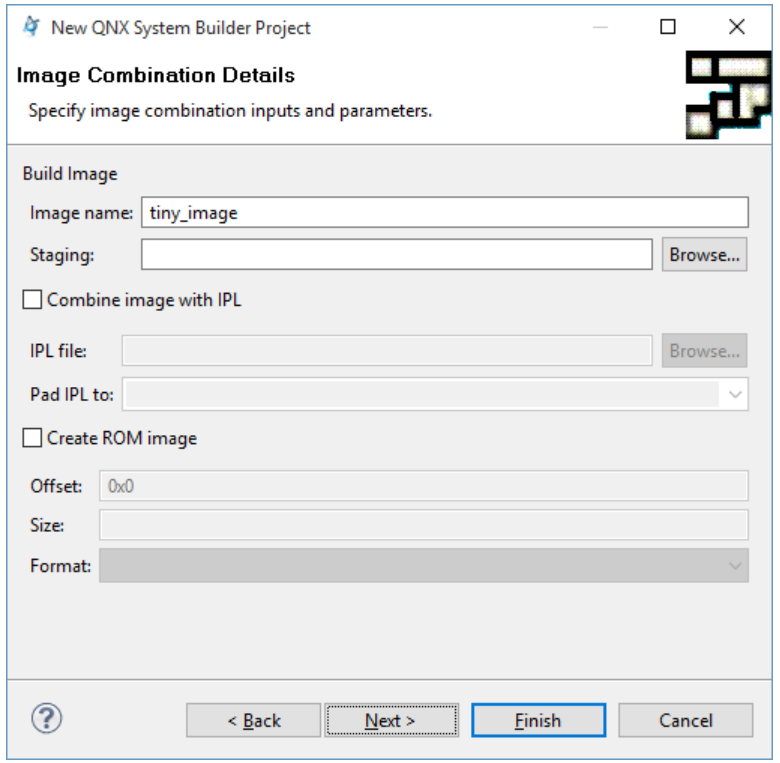
Import z BSP

Skopiuj istniejący plik

Utworzenie obrazu w IDE Momentics

- Wybrać stosowną opcję:

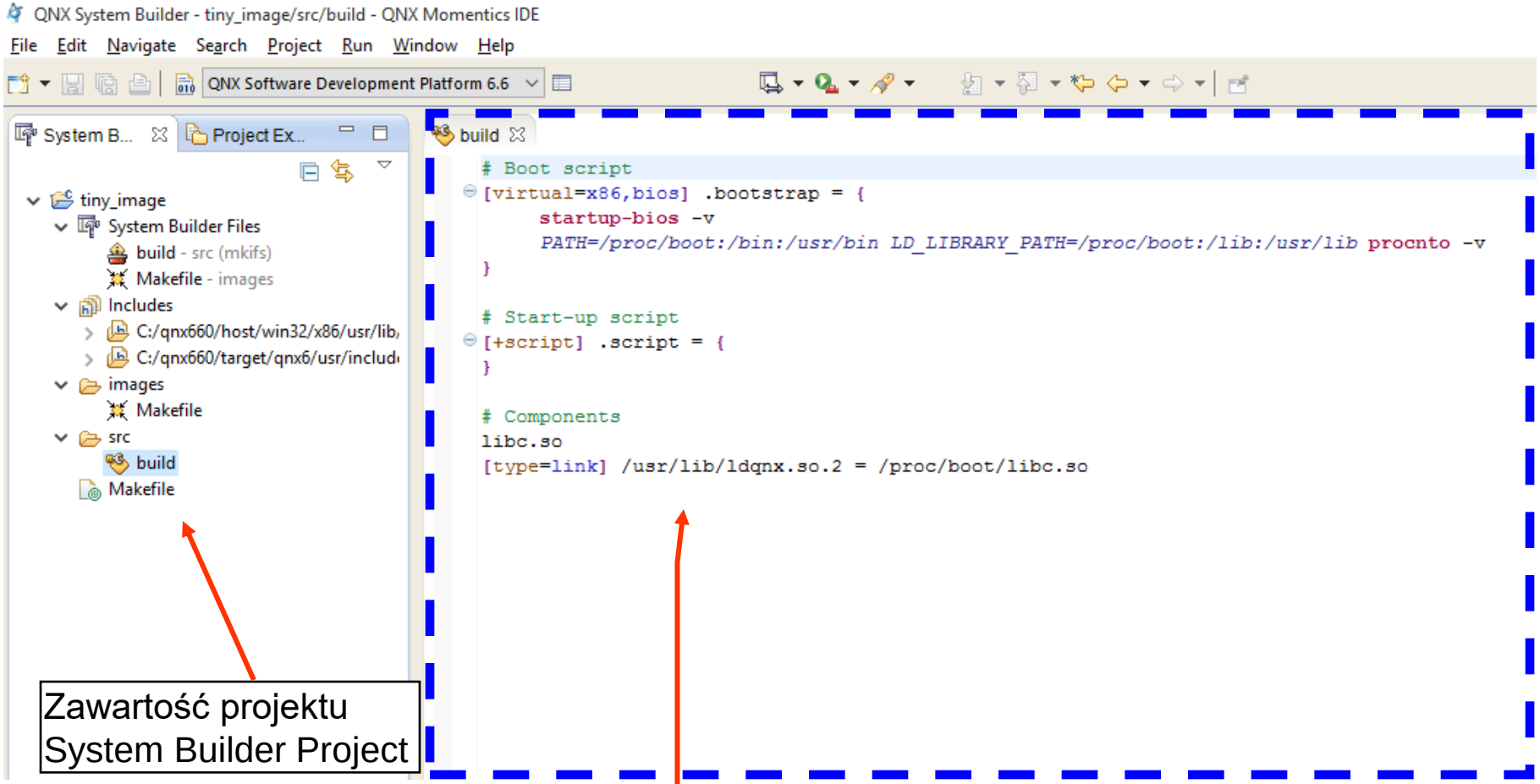




Minimalny plik build

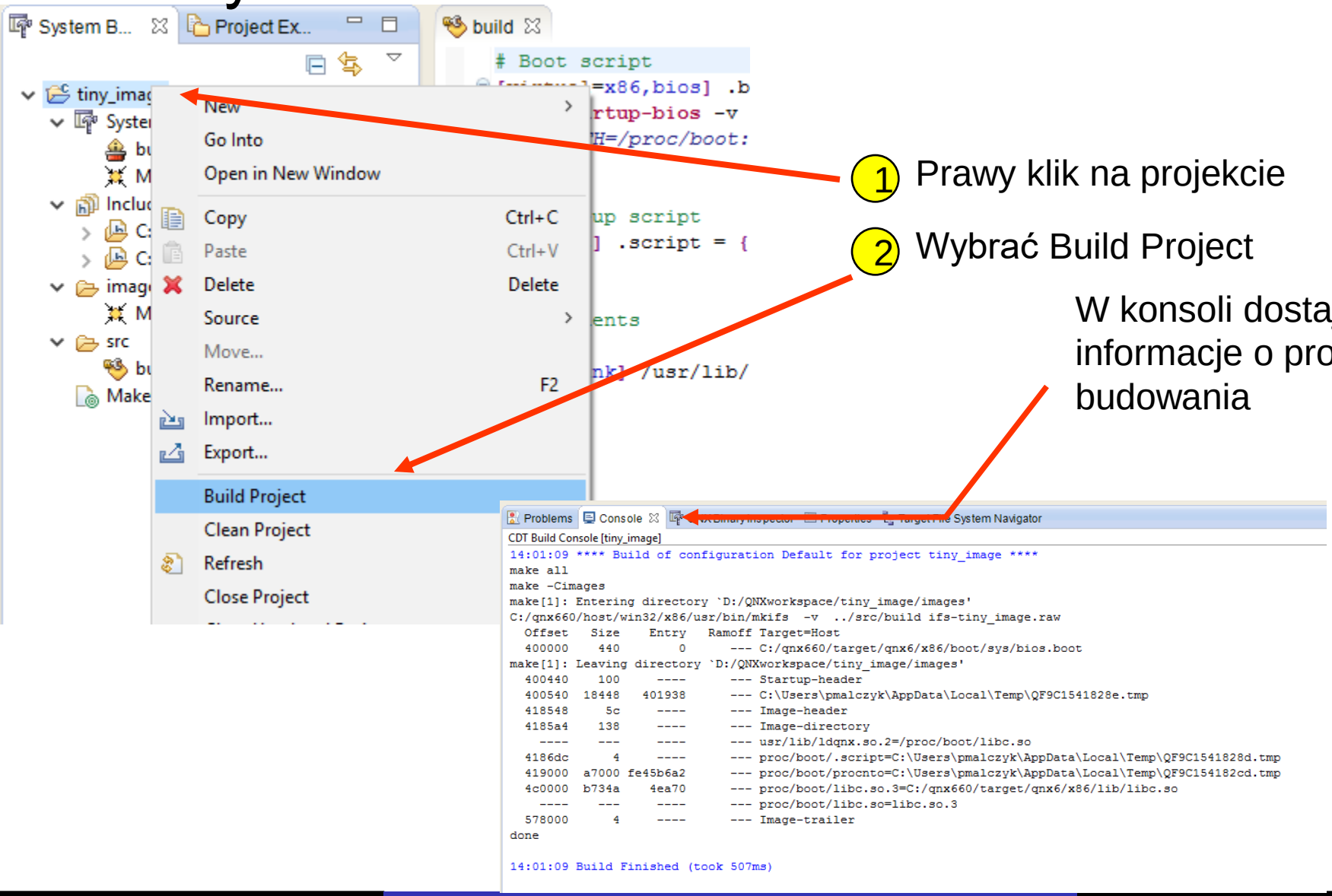
Maszyna z bios-em

Projekt System Builder



Budowanie obrazu

- Aby zbudować obraz

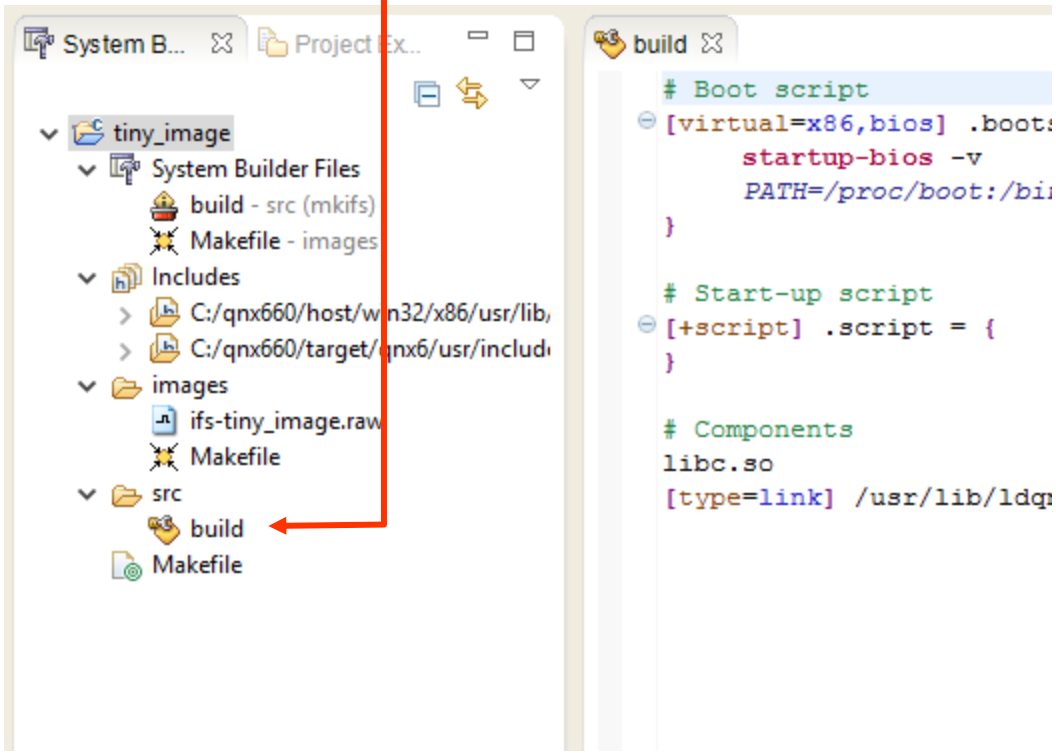


Edytor …

- Otworzyć edytor obrazu systemu:

Edytor obrazu systemu

Kliknąć na build



Ćwiczenie 1 – tworzenie obrazu min_image.raw

1. Zalogować się do systemu QNX. Wylistować zawartość katalogu **`/.boot`** zawierającą obrazy systemu.
2. Sprawdzić zawartość załadowanego obrazu systemu znajdującego się w katalogu **`/proc/boot`** .
3. Napisać i zbudować w IDE program typu **„Hello!”**. Plik wykonywalny skopiować do katalogu **`C:\qnx660\target\qnx6\x86\bin`**
4. Utworzyć nowy projekt QNX Builder System Project o nazwie **`min_image`**; wybrać platformę x86 oraz opcje: no template, boot file bios oraz startup-bios.
5. Napisać skrypt **`build`** w katalogu **`src`** wg poniższej instrukcji.
6. Zbudować obraz systemu.
7. Przekopiować powstały obraz SO do katalogu **`.boot`** na maszynie wirtualnej. Obejrzeć zawartość obrazu **`min_image.raw`** wpisując w konsoli polecenie:

   `dumpifs min_image.raw`
8. Zrestartować maszynę poleceniem **`shutdown`** i wybrać obraz systemu **`min_image.raw`** z menu.

Plik buildfile dla minimalnego systemu min_image.raw

```
# Plik build dla minimalnego systemu
[virtual=x86,bios +compress] boot={
        startup-bios
        PATH=:/proc/boot:/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
        LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot:/lib:/usr/lib:/lib/dll
procnto -vv
}

[+script] startup-script={
        display_msg "Moj obraz systemu QNX..."
        devc-con &
        reopen /dev/con1
        hello
}

libc.so
[type=link] /usr/lib/ldqnx.so.2=/proc/boot/libc.so
[code=uip data=copy perms=+r,+x]
devc-con
hello
```

Bootstrap file (skrypt inicjujący)

Startup script (skrypt ładujący procesy, usługi, urządzenia)

Reszta pliku buildfile (biblioteki, programy, ustawienia)

bootscript

Ćwiczenie 2 – tworzenie obrazu tiny_image.raw

1. Należy zbudować bardziej skomplikowany obraz systemu operacyjnego QNX o nazwie **`tiny_image.raw`**.
2. Przetestować działanie wirtualnych konsol i dołączonych poleceń.

```
[virtual=x86,bios +compress] boot={
      startup-bios
      PATH=:/proc/boot:/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot:/lib:/usr/lib:/lib/dll procnto -vv
}
[+script] startup-script={
           display_msg "Moj obraz systemu QNX..."
           hello &
           display_msg "Uruchamiam sterownik dysku..."
           devb-eide blk auto=partition cam quiet &
           display_msg "Otwieram wirtualne konsole..."
           # Ctrl+Alt+1 oraz Ctrl+alt+2
           devc-con -n2 &
           reopen /dev/con1
           [+session] HOME=/ ksh &
           reopen /dev/con2
           [+session] HOME=/ ksh &
}
# katalog /tmp w pamieci dzielonej
[type=link] /tmp=/dev/shmem
libc.so
[type=link] /usr/lib/ldqnx.so.2=/proc/boot/libc.so
# biblioteki do obslugi dysku
io-blk.so
cam-disk.so
libcam.so
```

```
# Dowiazanie symboliczne
[type=link]
/usr/lib/libcam.so.2=/proc/boot/libcam.so

# system plikow QNX
fs-qnx4.so

[code=uip data=copy perms=+r,+x]
kill
cat
ls
ksh
devc-con
less
ps
pidin
hogs
uname
mkdir
devb-eide
touch
hello
mount
shutdown
```

Ćwiczenie 2 - Plik build dla systemu tiny_image.raw

```
[virtual=x86,bios +compress] boot={
      startup-bios
      PATH=:/proc/boot:/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin

LD_LIBRARY_PATH=:/proc/boot:/lib:/usr/lib:/lib/dll
procnto -vv
}
[+script] startup-script={
          display_msg "Moj obraz systemu QNX..."
          hello &
          display_msg "Uruchamiam sterownik dysku..."
          devb-eide blk auto=partition cam quiet &
          # zamontuj partycje
          waitfor /dev/hd0t79
          mount /dev/hd0t79 /pliki
          display_msg "Otwieram wirtualne konsole..."
          # Ctrl+Alt+1 oraz Ctrl+alt+2
          devc-con -n2 &
          reopen /dev/con1
          [+session] HOME=/ ksh &
          reopen /dev/con2
          [+session] HOME=/ ksh &
}
# katalog /tmp w pamieci dzielonej
[type=link] /tmp=/dev/shmem
libc.so
[type=link] /usr/lib/ldqnx.so.2=/proc/boot/libc.so
# biblioteki do obslugi dysku
io-blk.so
cam-disk.so
libcam.so
```

```
# Dowiazanie symboliczne
[type=link]
/usr/lib/libcam.so.2=/proc/boot/libcam.so

# system plikow QNX
fs-qnx4.so

[code=uip data=copy perms=+r,+x]
kill
cat
ls
ksh
devc-con
less
ps
pidin
hogs
uname
mkdir
devb-eide
touch
hello
mount
shutdown
```

Komputer BeagleBone Black

Systemy wbudowane

System wbudowany jest to system komputerowy będący częścią większego systemu i wykonujący istotną część jego funkcji.

Wymagania na komputery przeznaczone do sterowania i zastosowań wbudowanych.

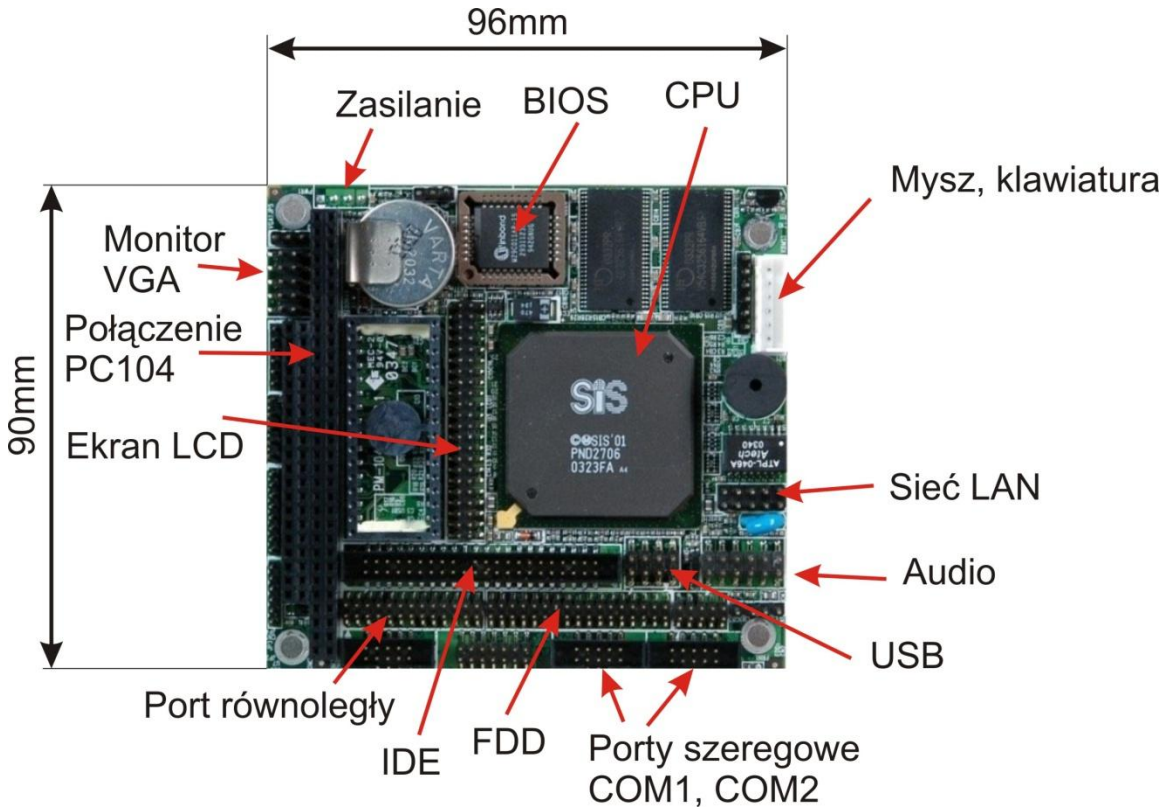
1. Wymagana jest odporność na pracę w trudnych warunkach otoczenia (wibracje, zapylenie, wilgoć), dopuszczalny jest szeroki zakres temperatur otoczenia.

2. Przeznaczone są do pracy ciągłej - brak jest elementów ruchomych (dyski obrotowe, wentylatory, napędy dyskietek), wymagana jest trwałość, łatwość serwisowania.

3. Oprogramowanie umieszczone jest w pamięci nieulotnej – ROM, flash, EPROM lub podobnej.
Stosowane jest wsparcie sprzętowe dla osiągania niezawodnej pracy – budzik (*ang. watchdog), pamięci ECC, magistrala z kontrolą parzystości,* poszerzona diagnostyka.

Przykład: standard PC104 …

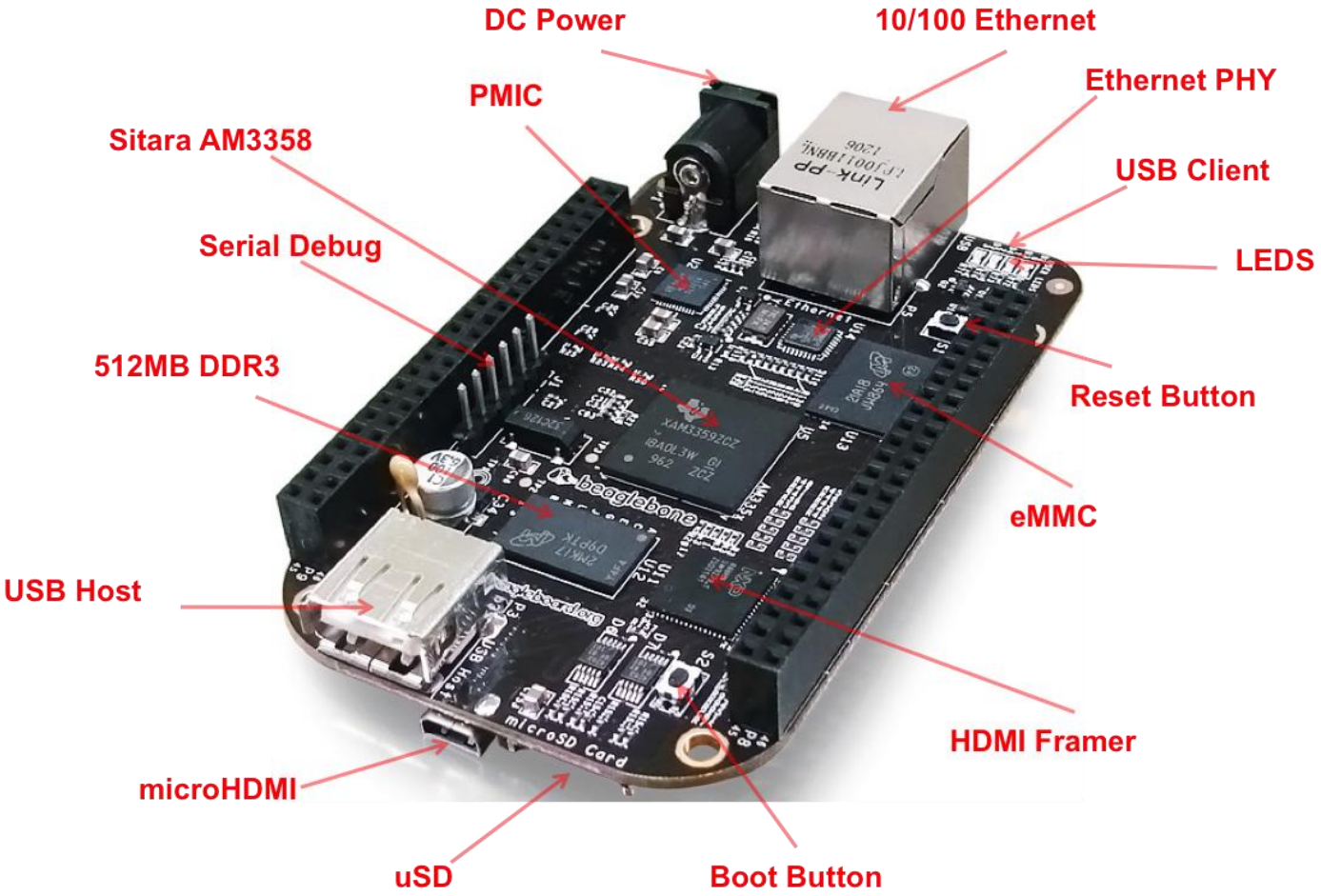
Komputer PM-1045 (SIS552) 128MB (standard PC104)



Standard PC104:

1. Standard mechaniczny (np. konstrukcja i wymiary, materiały)
2. Standard elektryczny (końcówki, własności elektryczne)
3. Standard logiczny (adresy, dane, magistrala, przerwania, DMA).

BeagleBone Black



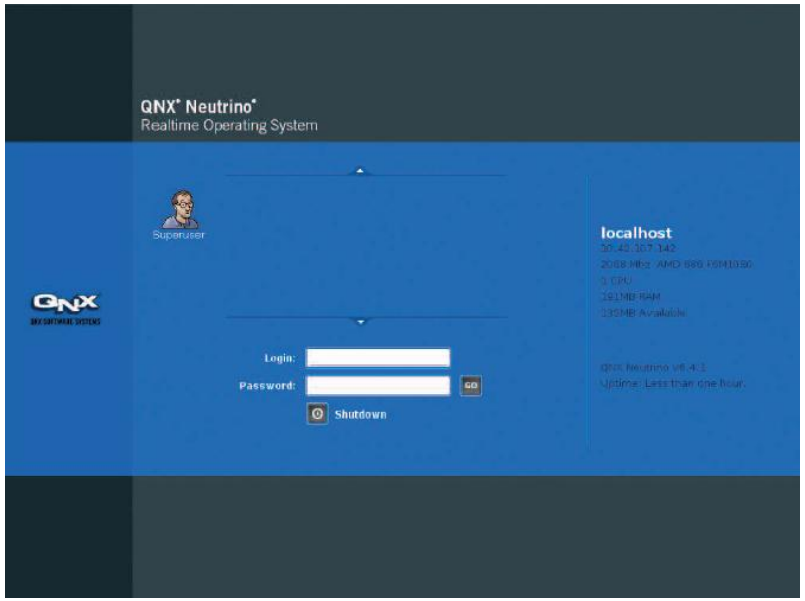
BeagleBone Black - specyfikacja

Komponent	Specyfikacja
Procesor	AM335x 1GHz ARM Cortex-A8 + 2x32bitPRU (Programmable Real-time Units)
Pamięć RAM	512MB DDR3 RAM
Grafika	microHDMI (do 1280x1024@60Hz) + audio
Dysk	eMMC + karta microSD
Ethernet	LAN8710A, wsparcie dla DHCP, złącze RJ45
USB	1xminiUSB2.0, 1xUSB2.0
Debug	UART, JTAG
Porty WY-WE	2x46 dostępnych pinów dla wyjść i wejść analogowych, timery, I^2C, UART, CAN, SPI, LCD, ….
Zasilanie	5VDC

Sprzęt …


SanDisk
microSD
microSDHC
microSDXC
ADAPTER


SanDisk
Ultra
8 GB


QNX® Neutrino®
Realtime Operating System
Superuser
localhost
Login:
Password:
GO
Shutdown

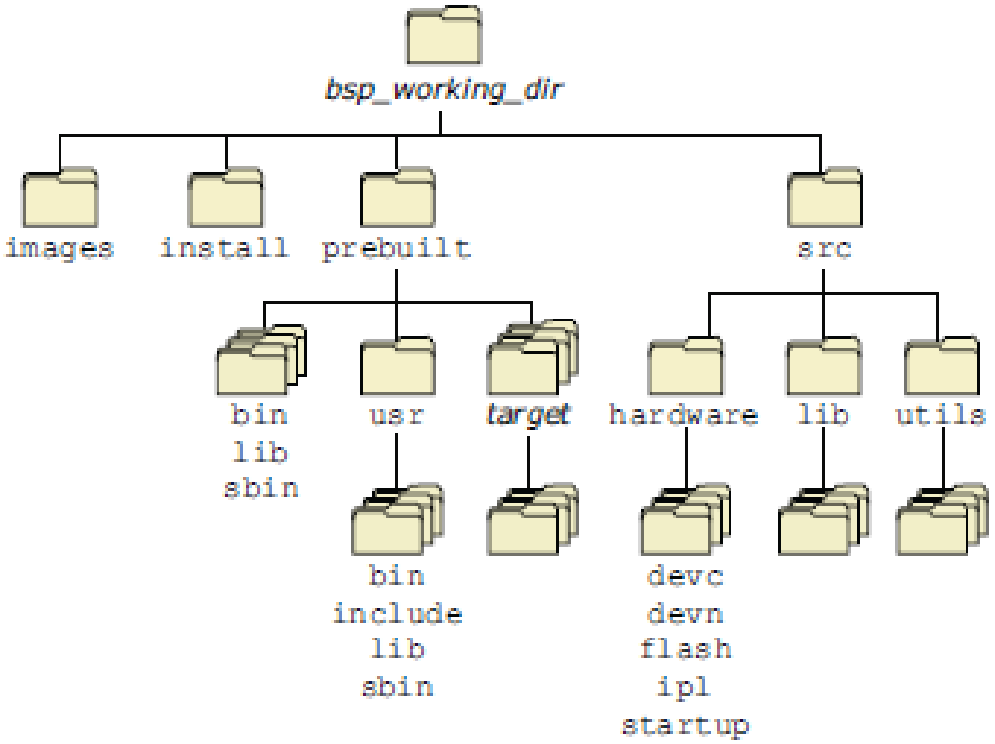
Praca z pakietami BSP

Pakiety wsparcia BSP (Board Support Packages)

- **IPL** - minimalnie konfigurują sprzęt, aby zbudować środowisko pozwalające na uruchomienie dalszych komponentów SO.
- **startup** – kopiowanie, dekompresja obrazu SO, konfiguracja sprzętu, start mikrojądra.
- **buildfile** – określa pliki, komendy, zmienne wewnątrz obrazu SO.
- wsparcie dla urządzeń na pokładzie urządzenia wbudowanego, np. dostęp do sieci.
- sterowniki urządzeń.

Praca z pakietami BSP

Pakiety wsparcia BSP (Board Support Packages)



http://community.qnx.com/sf/wiki/do/viewPage/projects.bsp/wiki/TiAm335Beaglebone

Ćwiczenie 3 – Przygotowanie obrazu QNX na BBB

1. Pobrać pakiet wsparcia BSP oraz bootloader-y (**`MLO`** i **`u-boot.img`**) dla QNX SDP 6.6.0 ze strony:
   `http://community.qnx.com/sf/wiki/do/viewPage/projects.bsp/wiki/TiAm335Beaglebone`
2. W środowisku IDE zaimportować BSP do przestrzeni roboczej poprzez opcję Import oraz wybór **`QNX->QNX Source Package and BSP`**.
3. Obejrzeć plik **`build`** , który znajduje się w drzewie **`System Builder Files`**. Zidentyfikować skrypt inicjujący, skrypt ładujący usługi/procesy oraz listę dołączonych do obrazu plików.
4. Zbudować projekt.
5. Przygotować kartę SD poprzez utworzenie partycji FAT32 oraz ustawienie partycji jako aktywnej.
6. Skopiować na kartę pamięci MLO, u-boot.img oraz obraz systemu QNX **`ifs-ti-am335x-beaglebone.bin`**
7. Przełożyć kartę SD do urządzenia BBB, a następnie uruchomić BBB.
8. Za pomocą terminala szeregowego sprawdzić poprawność zainicjowania i załadowania QNX-a.