

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

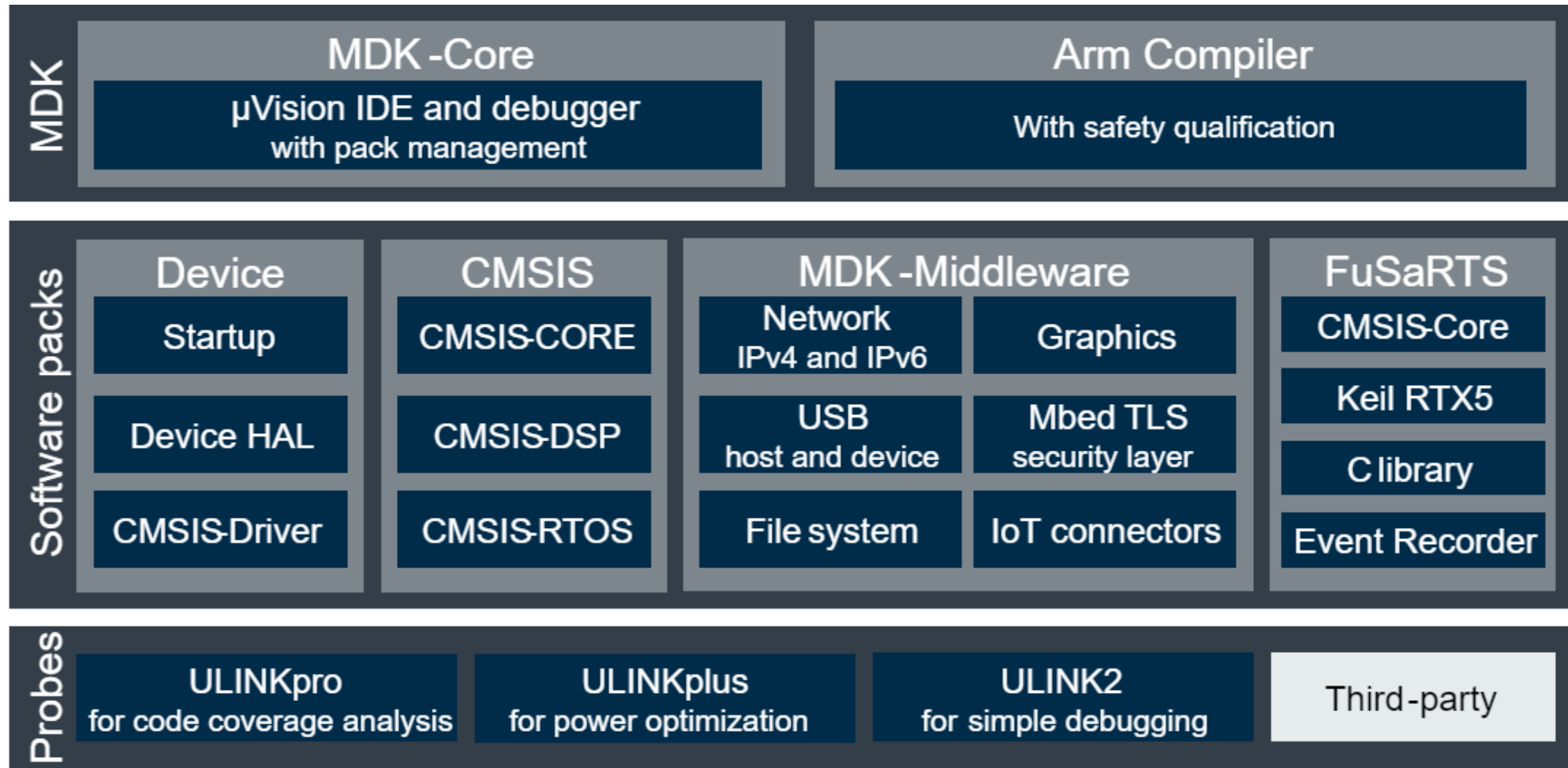
Δρ. Ν. Σγούρος (nsgouros@uniwa.gr)

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (IDE)

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Υπάρχουν πολλά διαφορετικά εργαλεία για την ανάπτυξη κώδικα σε ARM
- Τα εργαλεία ανάπτυξης χωρίζονται σε αυτά που εγκαθίστανται στον υπολογιστή και αυτά που είναι διαθέσιμα δικτυακά
- Τα εργαλεία ανάπτυξης κατηγοριοποιούνται σε αυτά που είναι διαθέσιμα δωρεάν και αυτά που έχουν κάποιο κόστος για το χρήστη
- Στο εργαστήριο προγραμματισμού ενσωματωμένων συστημάτων θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο KEIL μVision MDK στην έκδοση 5.38a

KEIL MDK (Δυνατότητες)



KEIL MDK (ΕΚΔΟΣΕΙΣ)

MDK-Community	MDK-Essential	MDK-Plus	MDK-Professional
Non-commercial use for evaluation, hobbyists, makers, academics, and students. Learn more	For Arm Cortex-M-based microcontroller projects. Learn more	For Cortex-M, Armv7, and Armv9. Includes middleware: IPv4 Networking, USB device, File system, and, Graphics. Learn more	All-in-one solution including all MDK-Middleware components and Arm Compiler for Embedded FuSa. Learn more
Download and install	Request a quote	Request a quote	Request a quote

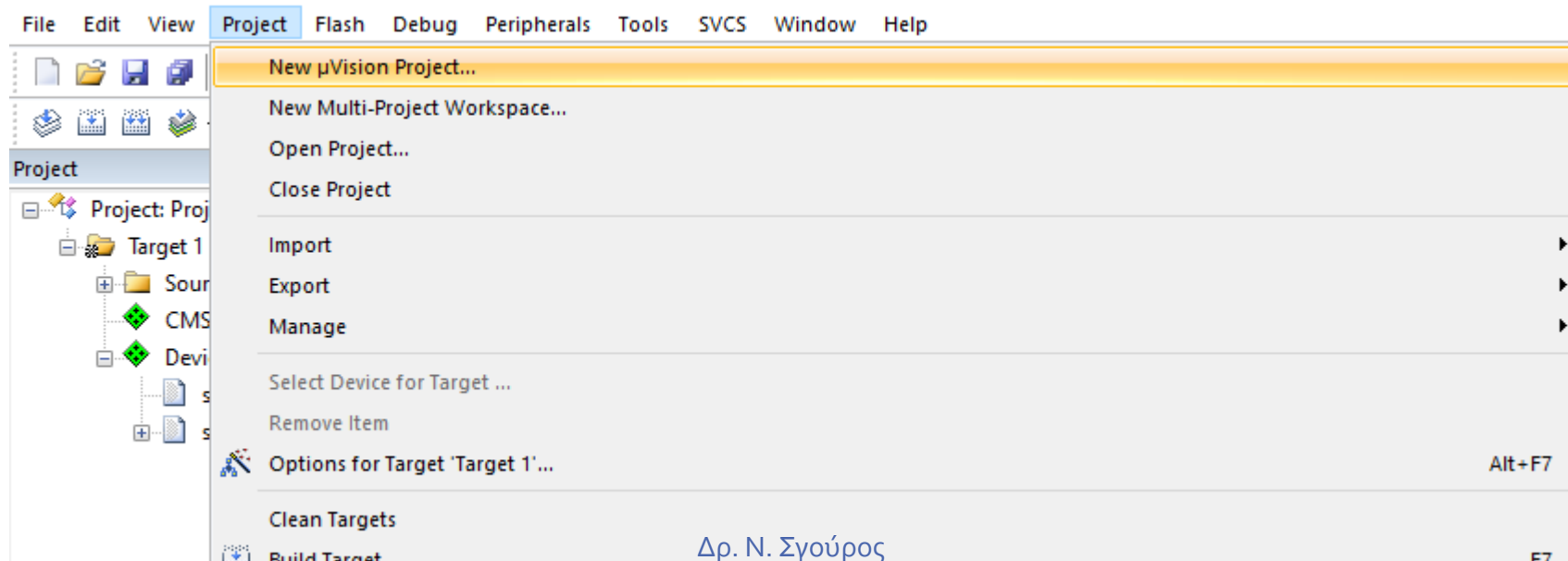
- Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις
- Η Έκδοση MDK-Community είναι ελεύθερα διαθέσιμη για μη κερδοσκοπικούς σκοπούς
- Η ελεύθερα διαθέσιμη έκδοση έχει περιορισμούς (<https://www2.keil.com/limits>)

Εγκατάσταση KEIL

- Το Keil μVision MDK μπορείτε να το κατεβάσετε από την διεύθυνση
<https://www.keil.com/download/product/>
- Θα χρειαστεί να εισάγετε κάποια στοιχεία (μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον ιδρυματικό σας λογαριασμό).
- Όταν κατέβει θα εκτελέσετε το αρχείο MDK538a.EXE για την εγκατάσταση
- Θα σας ζητηθούν πάλι κάποια βασικά στοιχεία και θα ολοκληρωθεί η εγκατάσταση

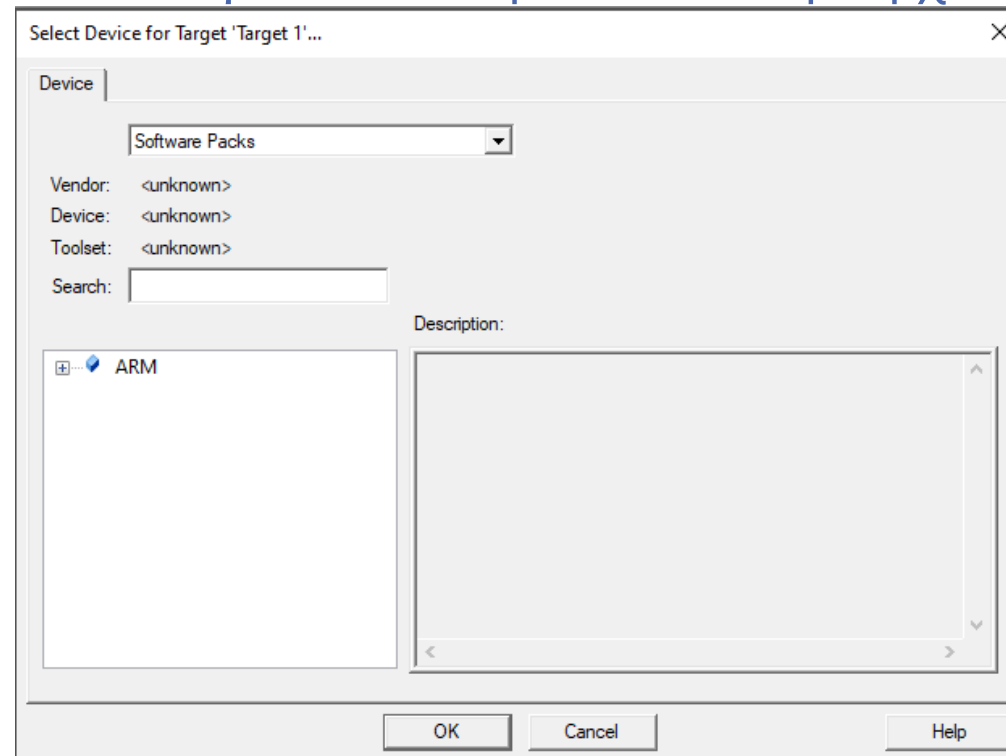
Δημιουργία ενός Project

- Ο κώδικας σας περιέχεται σε ένα Project
- Μπορείτε να αναπτύξετε ένα δέντρο φακέλων με ένα αρχικό φάκελο π.χ. KEILProjects και να αποθηκεύετε εκεί όλα τα Project που θα αναπτύξετε για το εργαστήριο.
- Για τη δημιουργία ενός νέου Project μέσα από το KEIL ακολουθείτε τη διαδρομή του σχήματος



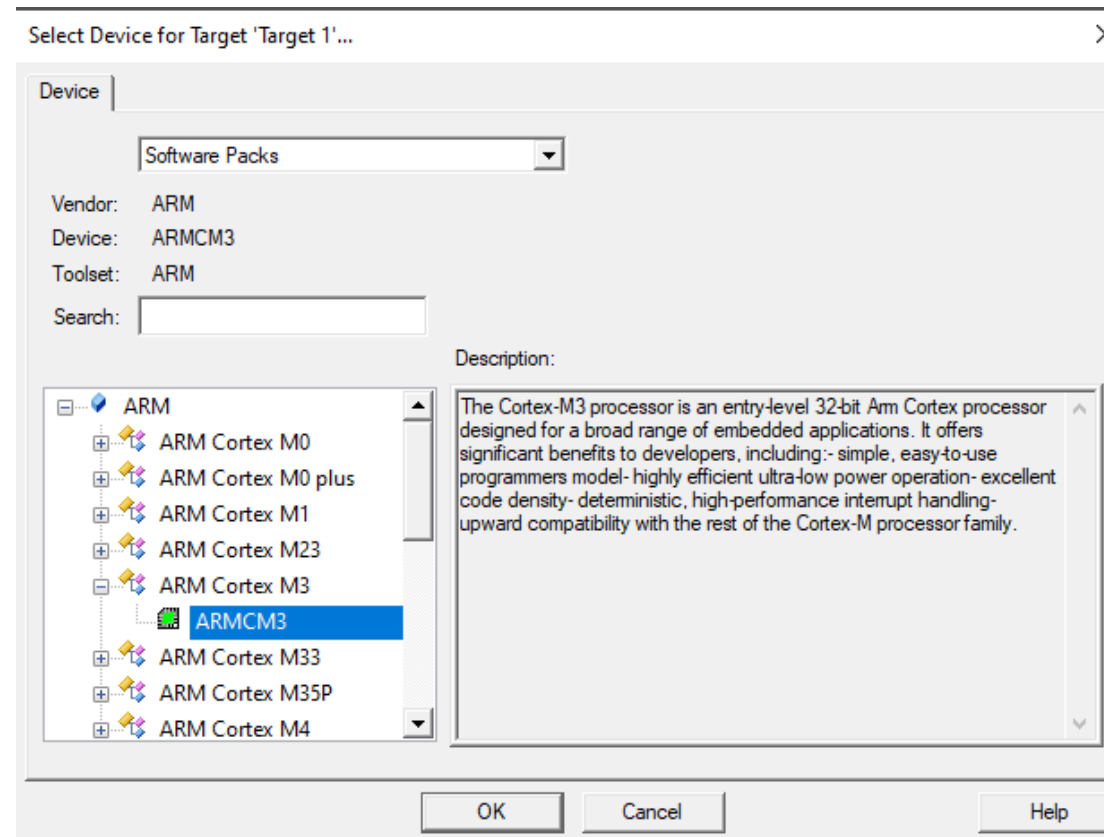
Δημιουργία ενός Project

- Αφού αποθηκεύσετε το Project με ένα όνομα θα εμφανιστεί ένα παράθυρο διαλόγου που επιτρέπει την επιλογή διαφόρων επεξεργαστών ARM (Εξαρτάται και από τα πακέτα που εγκαταστάθηκαν κατά την αρχική εγκατάσταση του KEIL



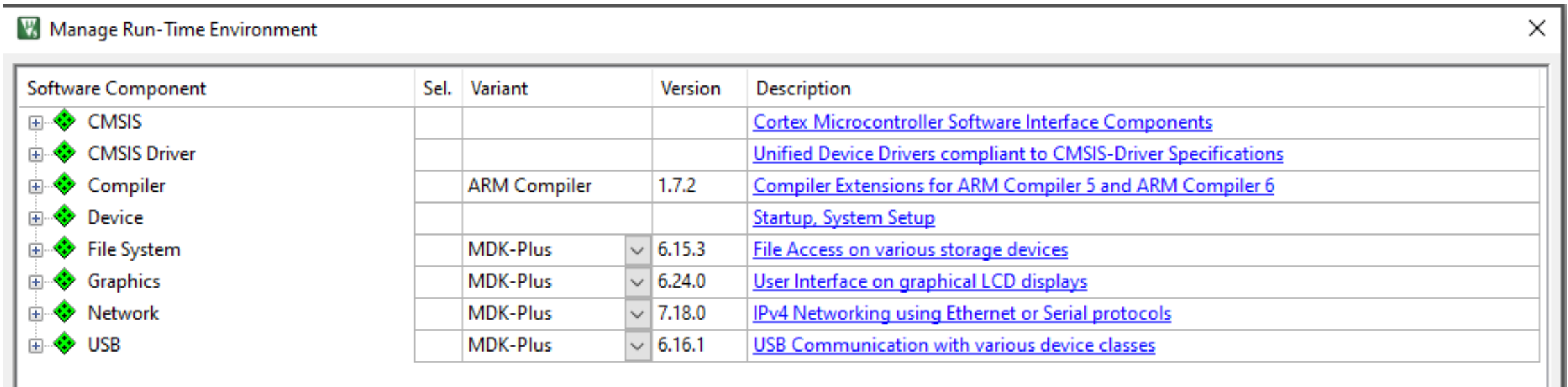
Δημιουργία ενός Project

- Στη συνέχεια (για τις ανάγκες του εργαστήριου) επιλέγουμε την αρχιτεκτονική ARM Cortex M3 (ARMCM3)



Δημιουργία ενός Project

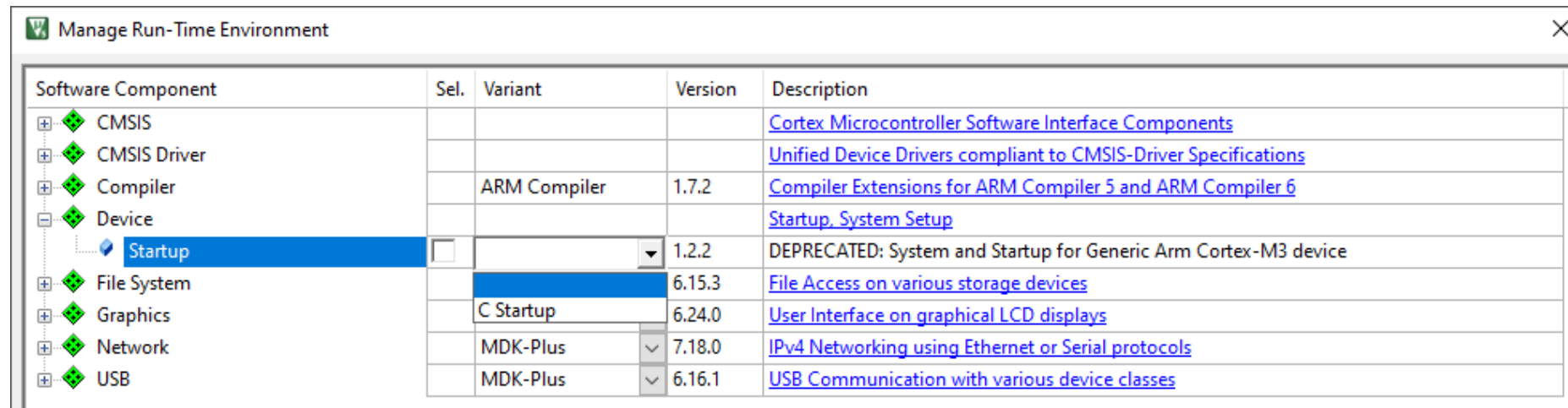
- Για κάθε επεξεργαστή που θα επιλέξουμε στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα σύνολο βιβλιοθηκών για να χρησιμοποιήσουμε οι οποίες είναι είτε απαραίτητες είτε προαιρετικές



Software Component	Sel.	Variant	Version	Description
+ CMSIS				Cortex Microcontroller Software Interface Components
+ CMSIS Driver				Unified Device Drivers compliant to CMSIS-Driver Specifications
+ Compiler		ARM Compiler	1.7.2	Compiler Extensions for ARM Compiler 5 and ARM Compiler 6
+ Device				Startup, System Setup
+ File System		MDK-Plus	6.15.3	File Access on various storage devices
+ Graphics		MDK-Plus	6.24.0	User Interface on graphical LCD displays
+ Network		MDK-Plus	7.18.0	IPv4 Networking using Ethernet or Serial protocols
+ USB		MDK-Plus	6.16.1	USB Communication with various device classes

Δημιουργία ενός Project

- Εμείς επιλέγουμε ως αρχικοποίηση συσκευής αυτή που απεικονίζεται παρακάτω (DEPRECATED)



Software Component	Sel.	Variant	Version	Description
+	<input type="checkbox"/>			Cortex Microcontroller Software Interface Components
+	<input type="checkbox"/>			Unified Device Drivers compliant to CMSIS-Driver Specifications
+	<input type="checkbox"/>	ARM Compiler	1.7.2	Compiler Extensions for ARM Compiler 5 and ARM Compiler 6
-	<input type="checkbox"/>			Startup, System Setup
-	<input checked="" type="checkbox"/>		1.2.2	DEPRECATED: System and Startup for Generic Arm Cortex-M3 device
+	<input type="checkbox"/>		6.15.3	File Access on various storage devices
+	<input type="checkbox"/>	C Startup	6.24.0	User Interface on graphical LCD displays
+	<input type="checkbox"/>	MDK-Plus	7.18.0	IPv4 Networking using Ethernet or Serial protocols
+	<input type="checkbox"/>	MDK-Plus	6.16.1	USB Communication with various device classes

Δημιουργία ενός Project

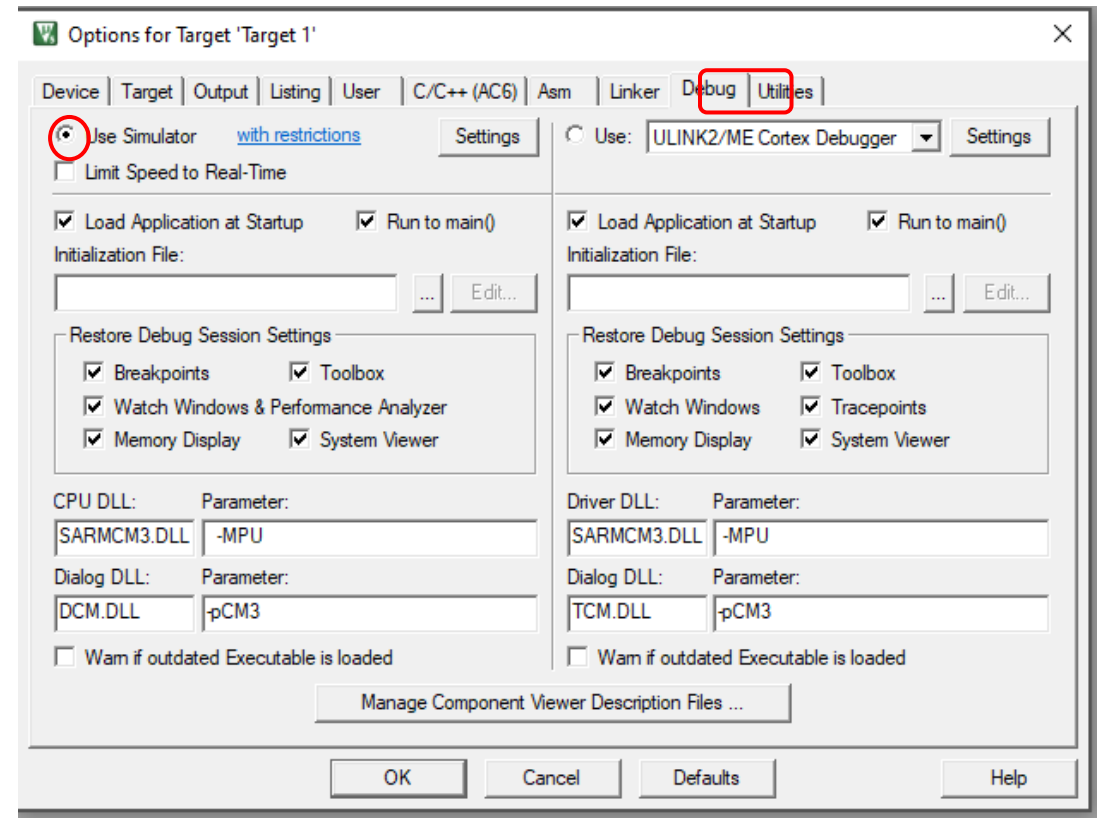
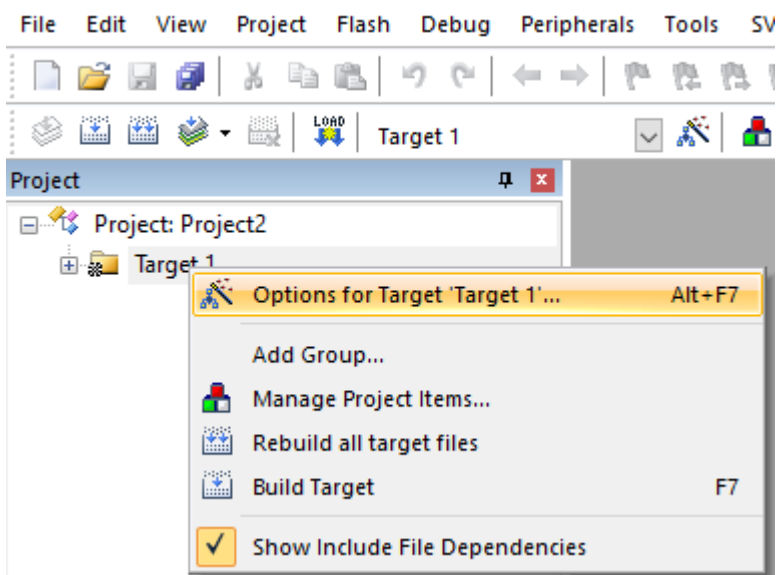
- Και στη συνέχεια από το σύνολο διαθέσιμων εργαλείων CMSIS, επιλέγουμε το CORE και πατάμε OK στο τέλος της σελίδας

Manage Run-Time Environment

Software Component	Sel.	Variant	Version	Description
CMSIS	<input type="checkbox"/>			Cortex Microcontroller Software Interface Components
CORE	<input checked="" type="checkbox"/>		5.6.0	CMSIS-CORE for Cortex-M, SC000, SC300, Star-MC1, ARMv8-M, ARMv8.1-M
DSP	<input type="checkbox"/>	Source	1.14.2	CMSIS-DSP Library for Cortex-M and Cortex-A
NN Lib	<input type="checkbox"/>		4.0.0	CMSIS Neural Network(NN) Library
DSP	<input type="checkbox"/>			
RTOS (API)	<input type="checkbox"/>		1.0.0	CMSIS-RTOS API for Cortex-M, SC000, and SC300
RTOS2 (API)	<input type="checkbox"/>		2.1.3	CMSIS-RTOS API for Cortex-M, SC000, and SC300
CMSIS Driver	<input type="checkbox"/>			Unified Device Drivers compliant to CMSIS-Driver Specifications
Compiler	<input type="checkbox"/>	ARM Compiler	1.7.2	Compiler Extensions for ARM Compiler 5 and ARM Compiler 6
Device	<input type="checkbox"/>			Startup, System Setup
Startup	<input checked="" type="checkbox"/>		1.2.2	DEPRECATED: System and Startup for Generic Arm Cortex-M3 device
File System	<input type="checkbox"/>	MDK-Plus	6.15.3	File Access on various storage devices
Graphics	<input type="checkbox"/>	MDK-Plus	6.24.0	User Interface on graphical LCD displays
Network	<input type="checkbox"/>	MDK-Plus	7.18.0	IPv4 Networking using Ethernet or Serial protocols
USB	<input type="checkbox"/>	MDK-Plus	6.16.1	USB Communication with various device classes

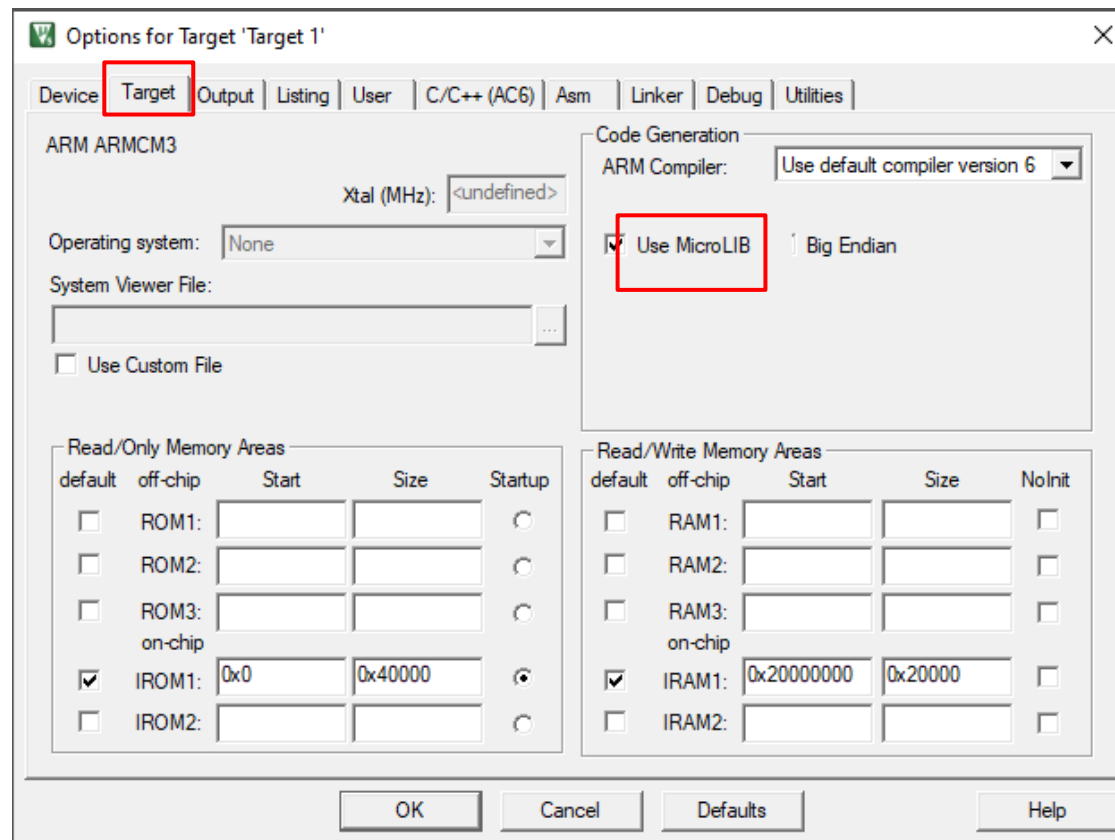
Δημιουργία ενός Project

- Μετά τις παραπάνω επιλογές πρέπει να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες ρυθμίσεις για να μπορεί να εκτελεστεί το Project στο περιβάλλον του εξομοιωτή (Debug → Use Simulator)



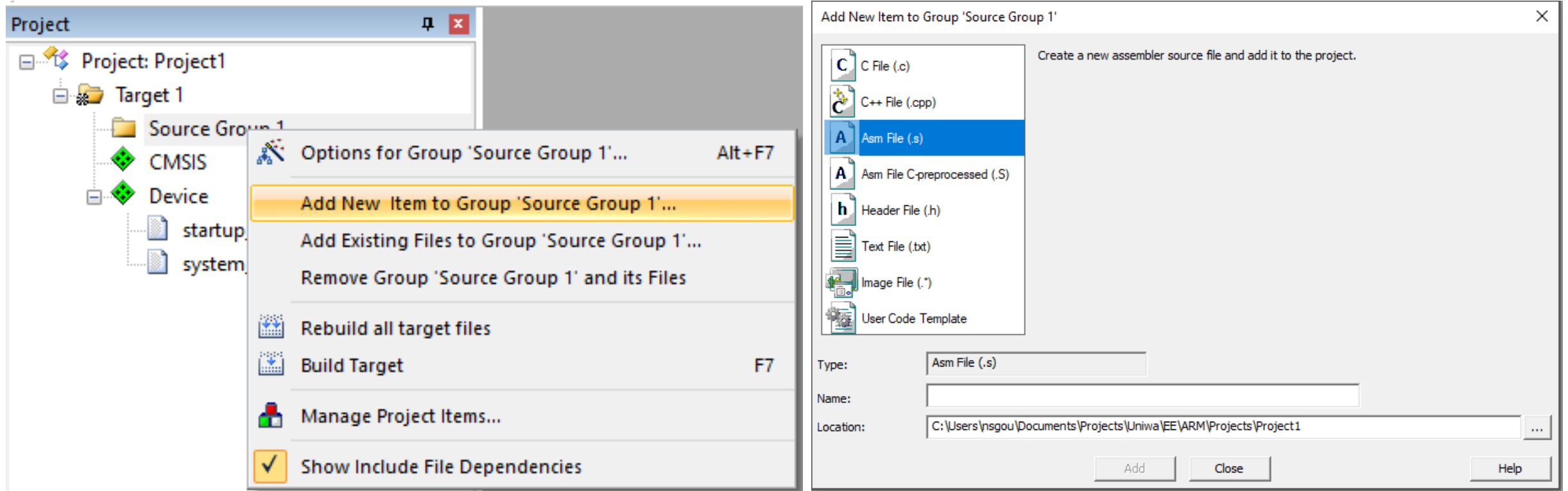
Δημιουργία ενός Project

- Εν συνεχεία στο πεδίο Device επιλέγουμε Target και στην ομάδα Code Generation Use Microlib



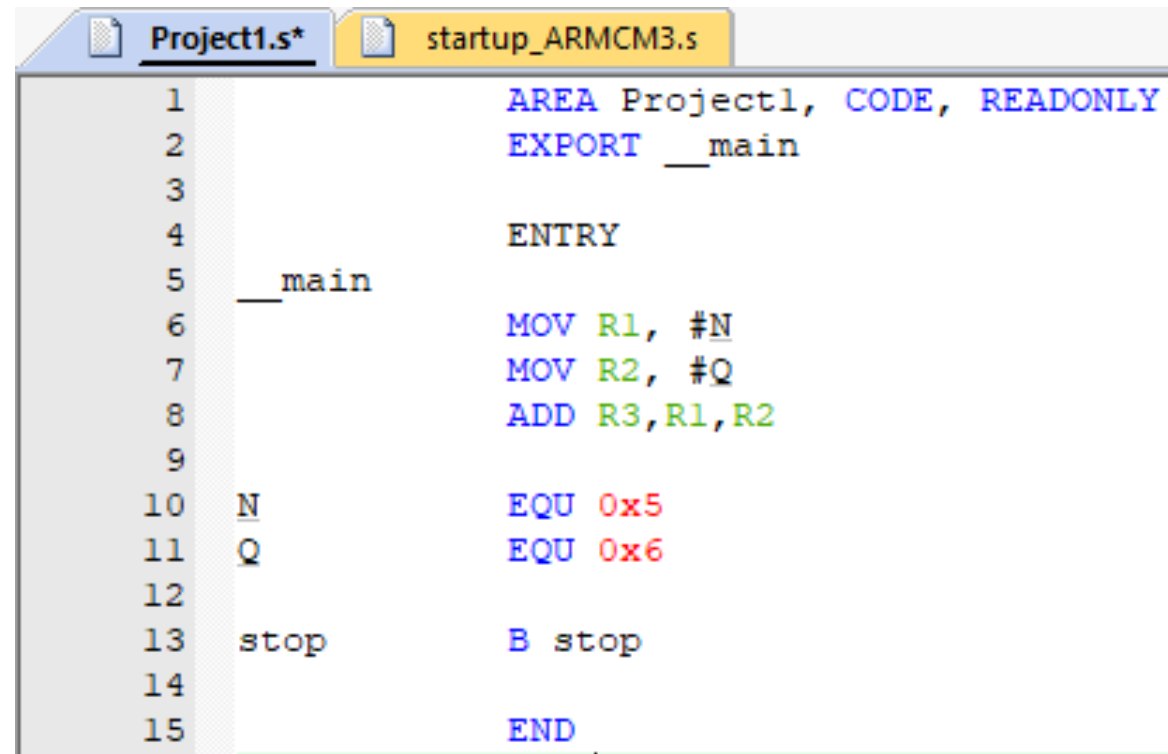
Προσθήκη Αρχείων

- Στη συνέχεια θα προσθέσουμε αρχεία κώδικα στο Project. Τα αρχεία με κώδικα assembly έχουν κατάληξη .s



Το Πρώτο μου Πρόγραμμα

- Στο αρχείο που προσθέσαμε θα αναπτύξουμε ένα απλό πρόγραμμα για να δοκιμάσουμε τη λειτουργία του εργαλείου



```
1      AREA Project1, CODE, READONLY
2      EXPORT __main
3
4      ENTRY
5      __main
6      MOV R1, #N
7      MOV R2, #Q
8      ADD R3,R1,R2
9
10     N      EQU 0x5
11     Q      EQU 0x6
12
13     stop   B stop
14
15     END
```


Το Πρώτο μου Πρόγραμμα

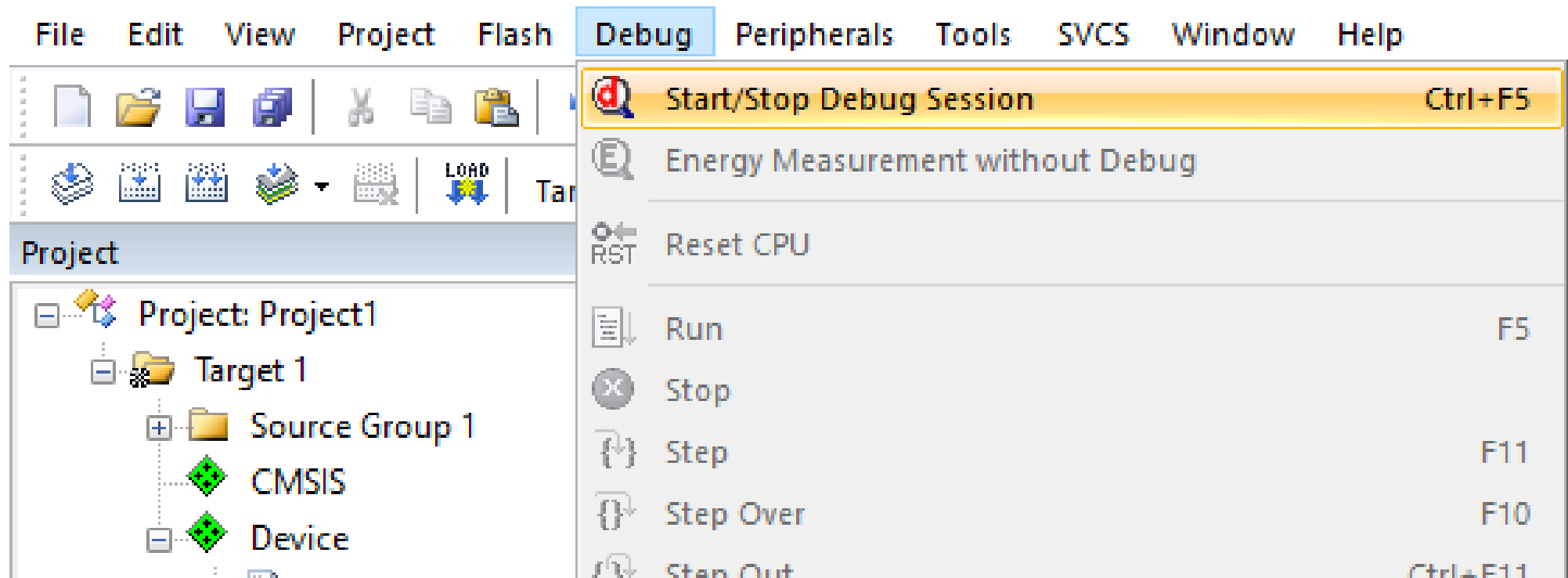
- Στη συνέχεια επιλέγουμε build (ή Build all αν υπήρχαν πολλά αρχεία με αλλαγές στο Project μας)

```
File Edit View Project Flash Debug Peripherals Tools SVCS Window Help
Project1 startup_ARMCM3.s
Project: Project1
  Target 1
    Source Group 1
    CMSIS
    Device
    startup_ARMCM3.s (Startup)
    system_ARMCM3.c (Startup)
Project1.s startup_ARMCM3.s
1 AREA Project1, CODE, READONLY
2 EXPORT __main
3
4 ENTRY
5 __main
6 MOV R1, #N
7 MOV R2, #Q
8 ADD R3,R1,R2
9
10 N EQU 0x5
11 Q EQU 0x6
12
13 stop B stop
14
15 END
Build Output
Rebuild started: Project: Project1
*** Using Compiler 'V6.19', folder: 'C:\Keil_v5\ARM\ARMCLANG\Bin'
Rebuild target 'Target 1'
compiling system_ARMCM3.c...
assembling Project1.s...
assembling startup_ARMCM3.s...
linking...
Program Size: Code=112 RO-data=960 RW-data=4 ZI-data=1024
".\Objects\Project1.axf" - 0 Error(s), 0 Warning(s).
Build Time Elapsed: 00:00:01
```

Δρ. Ν. Σγούρος

Το Πρώτο μου Πρόγραμμα

- Επειδή μας ενδιαφέρει να δούμε βήμα βήμα την εκτέλεση του προγράμματος μας και τις τιμές που λαμβάνουν οι καταχωρητές ή πώς αλλάζουν τα δεδομένα στη μνήμη θα χρησιμοποιήσουμε το Debugger



Το Πρώτο μου Πρόγραμμα

- Ο Debugger ξεκινά δείχνοντας σε ένα σημείο του αρχείου startup_ARMCM3.s το οποίο περιέχει το reset handler και ένα δείκτη προς τη __main

The screenshot displays a debugger interface with two main panes. On the left, the 'Registers' pane shows the state of various registers. On the right, the 'Disassembly' pane shows the assembly code for the 'Reset_Handler' function.

Register	Value
R0	0x00000000
R1	0x00000000
R2	0x00000000
R3	0x00000000
R4	0x00000000
R5	0x00000000
R6	0x00000000
R7	0x00000000
R8	0x00000000
R9	0x00000000
R10	0x00000000
R11	0x00000000
R12	0x00000000
R13 (SP)	0x20000408
R14 (LR)	0xFFFFFFFF
R15 (PC)	0x000003C0
xPSR	0x01000000

```
0x000003BE 0000 DCW 0x0000
109: LDR R0, =SystemInit
0x000003C0 480B LDR r0,[pc,#44] ; @0x000003F0
110: BLX R0
0x000003C2 4780 BLX r0
111: LDR R0, =__main
0x000003C4 480B LDR r0,[pc,#44] ; @0x000003F4
112: BX R0

Project1.s startup_ARMCM3.s system_ARMCM3.c
100 AREA |.text|, CODE, READONLY
101
102 ; Reset Handler
103
104 Reset_Handler PROC
105 EXPORT Reset_Handler [WEAK]
106 IMPORT SystemInit
107 IMPORT __main
108
109 LDR R0, =SystemInit
110 BLX R0
111 LDR R0, =__main
112 BX R0
113 ENDP
114
115 ; The default macro is not used for HardFault_Handler
116 ; because this results in a poor debug illusion.
117 HardFault_Handler PROC
118 EXPORT HardFault_Handler [WEAK]
119 B .
120 ENDP
121
```

Υπόδειγμα Κώδικα

```
1      AREA Project1, CODE, READONLY
2      EXPORT __main
3
4      ENTRY
5      __main
6      MOV R1, #N
7      MOV R2, #Q
8      ADD R3, R1, R2
9
10     N EQU 0x5
11     Q EQU 0x6
12
13     stop B stop
```

Οδηγίες προς τον Επεξεργαστή

- **Γενικές Οδηγίες**

- **AREA:** Ορίζει ένα τμήμα δεδομένων ή κώδικα στη μνήμη
- **ENTRY:** Ορίζει την αρχή του προγράμματος
- **EQU:** Αντιστοιχεί μία σταθερά με ένα λεκτικό (label)
- **ALIGN:** Ευθυγραμμίζει κώδικα ή δεδομένα στη μνήμη
- **END:** Τέλος του Προγράμματος

Οδηγίες προς τον Επεξεργαστή (Δεδομένα)

- **Οδηγίες που αφορούν τα δεδομένα**
 - **DCB:** Δεδομένο μεγέθους 1 byte
 - **DCW:** Δεδομένο μεγέθους half word (=2bytes)
 - **DCD:** Δεδομένο μεγέθους word (=4 bytes)
 - **SPACE:** Δεσμεύει ένα χώρο με μηδενικά στη μνήμη

DCB

Tbl DCB 0xF, 11, 2_01010101

Tbl1: 0x0F

Tbl1+1: 0x0B

Tbl1+2: 0x55

DCW

Tbl DCW 0xFF32, 11

Tbl1:	0x32
Tbl1+1:	0xFF
Tbl1+2:	0x0B
Tbl1+3:	0x00

DCD

Tbl DCD 0xFF32A3B8, 11

Tbl1: 0xB8

Tbl1+1: 0xA3

Tbl1+2: 0x32

Tbl1+3: 0xFF

Tbl1+4: 0x0B

Tbl1+5: 0x00

Tbl1+6: 0x00

Tbl1+7: 0x00

SPACE

Tbl SPACE 20

Tbl1: 0x00

Tbl1+1: 0x00

Tbl1+2: 0x00

Tbl1+3: 0x00

Tbl+19: 0x00

Χαρακτήρες

Char DCB 'Α'

Αλφαριθμητικά

Τα αλφαριθμητικά τερματίζονται με ο (null termination)

```
Str1 DCB "ARM Assembly for Embedded",0
```

Ένα πλήρες Πρόγραμμα

```
1      AREA MyData, DATA, align = 2 ; Define a data segment
2      tbl DCB 0xA4B
3
4      AREA MyCode, CODE, readonly, align = 3 ; Define a code Segment
5      EXPORT __main
6
7      ENTRY
8      __main
9
10     LDR R6,=tbl ; Address load
11     LDRB R3, [R6] ; Load of the initial value
12     MOV R4, #35 ; Increment
13     MOV R0,#0 ; Initialize loop counter
14 rep  ADD R0,#1 ; Incrementation of the loop counter
15     ADDS R3,R4 ; Incrementation of the value
16     BCC rep ; Conditional branch
17
18 stop B stop
19
20     END
```