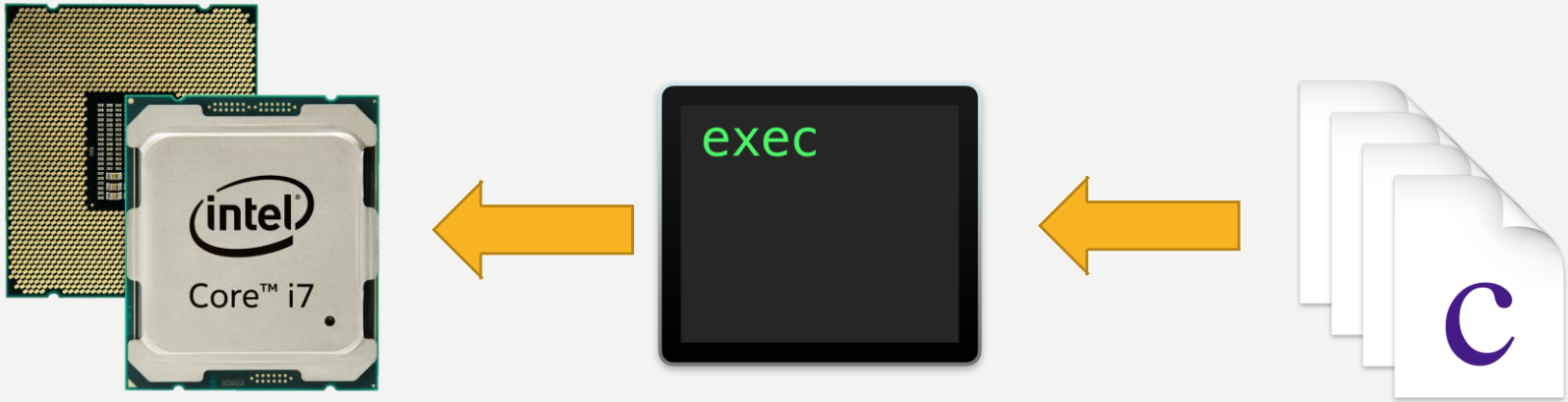
קישור, טעינה ומבנה קובץ הרצה

©אלי ביהם, אביעד כרמל, נערך ע"י טל שנקר ועידן רז

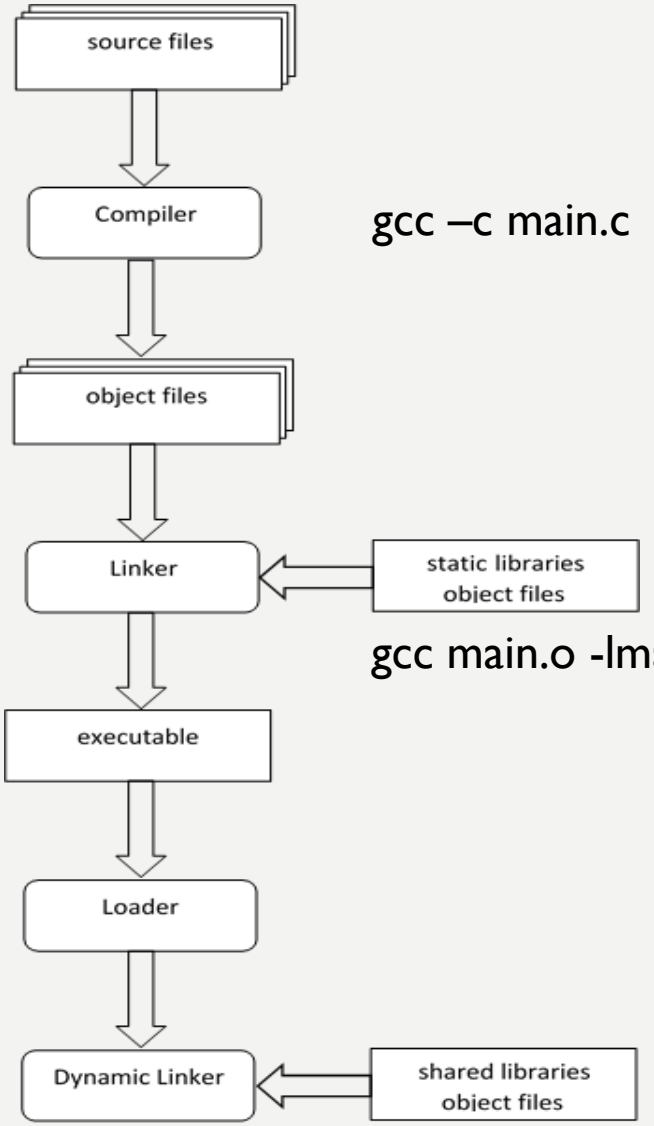
תכנית היום

- סקירה של התהליך: מקבצי קוד C, לקובץ הרצה, ולבסוף לתהליך אשר מריץ את הקוד



- למה זה חשוב לנו? כדי לעשות RE נרצה:
  - לנצל מידע מכל אחד מהשלבים
  - לשנות תוכן של קובץ ההרצה/התהליך הרץ

מקוד לקובץ הרצה



gcc –c main.c → main.o

gcc main.o -lmath → main.exe

מקובץ עם קוד ב C אל OBJECT FILE

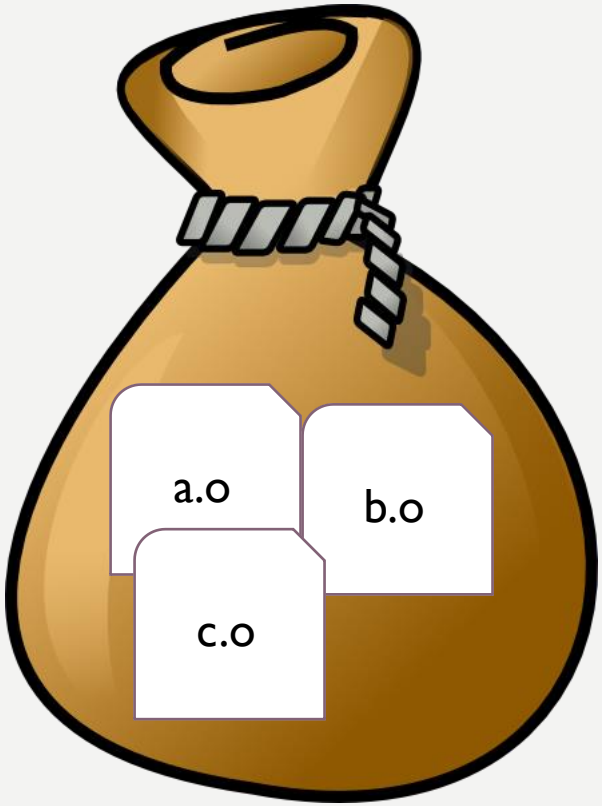
- נרצה לקמפל מספר קבצי C
- כל קובץ מקומפל בנפרד
- לכל קובץ נוצר object file אשר מכיל:
  - object code – קוד אסמבלי "עם חורים"
  - מידע בעבור קישור הקובץ לקבצים אחרים
  - מידע נוסף לא רלוונטי עבורנו

קישור מספר OBJECT FILES

- נרצה לקחת את ה object files שנוצרו בשקף הקודם ולאחדם לקובץ הרצה יחיד.
- בשלב זה, ניתן לפתור תלויות בין symbols בקבצים שונים (לדוגמה, קובץ עם קוד שקורא לפונקציה אשר ממומשת בקובץ אחר).
- מה עם פונקציות ספריה? לדוגמה, printf? איפה המימוש שלהם?

מה היא ספריה?

- בגדול: פשוט אוסף של כמה object files
- בדיוק רב יותר: לפעמים מכילה מידע שולי נוסף – לדוגמה, בהינתן שם של פונקציה, באיזה object file בספריה מופיע מימוש הפונקציה (אם בכלל)



קישור עם ספריות

- ישנם מספר דרכים לקשר object files עם ספריה:

1. קישור סטטי – להעתיק את ה-object files הרלוונטיים מתוך הספרייה ישירות לקובץ ההרצה.
2. קישור דינאמי בזמן טעינה – "לסמן" בקובץ ההרצה "לפני הרצת התוכנה, יש לטעון את הספרייה...." (בהמשך נראה איך זה קורא בפועל).
3. קישור דינאמי בזמן ריצה – קריאות מערכת הפעלה אשר טוענות ספריה בזמן ריצה (LoadLibraryEx לדוגמה – יהיה שימושי בעוד מספר שיעורים).
4. קישור דינאמי Delayed – "מסמנים" בקובץ ההרצה כי יש צורך בספריה מסוימת. היא תטען בזמן ריצה אך ורק אם יהיה בא שימוש.

מקובץ הרצה לתהליך שרץ

מבנה קובץ ההרצה - מוטיבציה

- קובץ הרצה (סיומת EXE/DLL ב-Windows) מכיל מידע נוסף מעבר לשפת מכונה, למשל:
  - מידע לזמן טעינת התכנית
    - מידע על פונקציות חיצוניות שמיובאות מספריות מערכת (DLL)
  - מידע ל Debugger - שמות משתנים, וכו'
  - מידע שהשאיר הקומפיילר לצרכים אחרים

- מידע זה שימושי ביותר ל-RE
  - החל מהבנת מבנה הקריאות (מי קורא למי ולאיזה משתנים)
  - דרך קבלת רמזים משמות הפונקציות והמשתנים
  - אילו ספריות מערכת בשימוש

מוטיבציה - המשך

- ביצוע שינויים בקובץ הרצה
  - דורשים הכרת מבנה קובץ הרצה
  - למשל, וירוסים משתילים קוד עוין בקבצי הרצה קיימים

- בנוסף, פעולת ה-loader הטוען קובץ הרצה לזיכרון, משפיעה על מבנה הנתונים בזיכרון אותו רואים בזמן ריצה

מדוע צריך מבנה לקובץ הרצה?

- מדוע לא ניתן להסתפק בקוד אסמבלי בלבד בתוך EXE?
  - למשל קובץ com. מכיל אסמבלי טהור

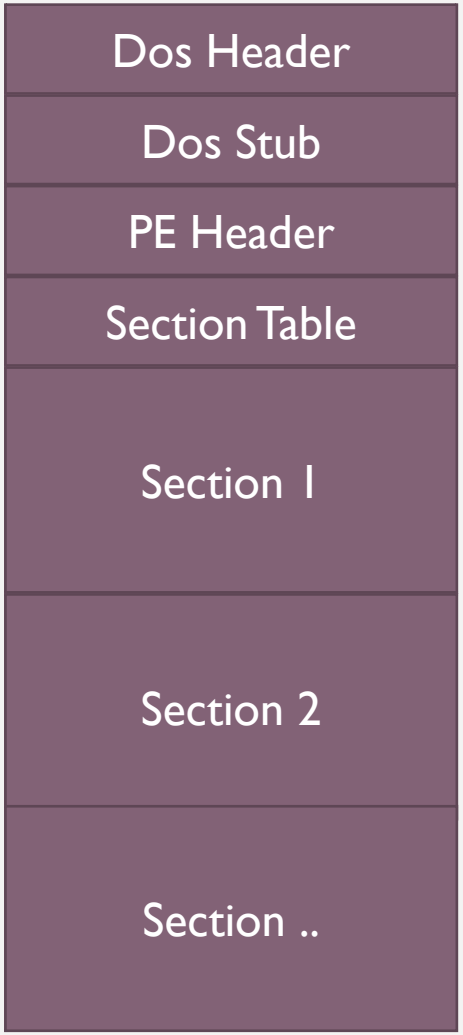
- סוגי הנתונים הבאים (ועוד) נמצאים בקבצי הרצה בנוסף לקוד התוכנית:
  - איך להפנות לקוד שנמצא בספריות מערכת - עלינו לדווח ל-loader כיצד למצוא אותו (כלומר שם הפונקציה ובאיזה DLL היא נמצאת)
  - מה קורה אם הקוד נטען במקום לא ידוע מראש בזיכרון? עלינו לספק טבלת relocation עם פירוט איפה וכיצד לתקן את הקוד

מדוע צריך מבנה לקובץ הרצה?

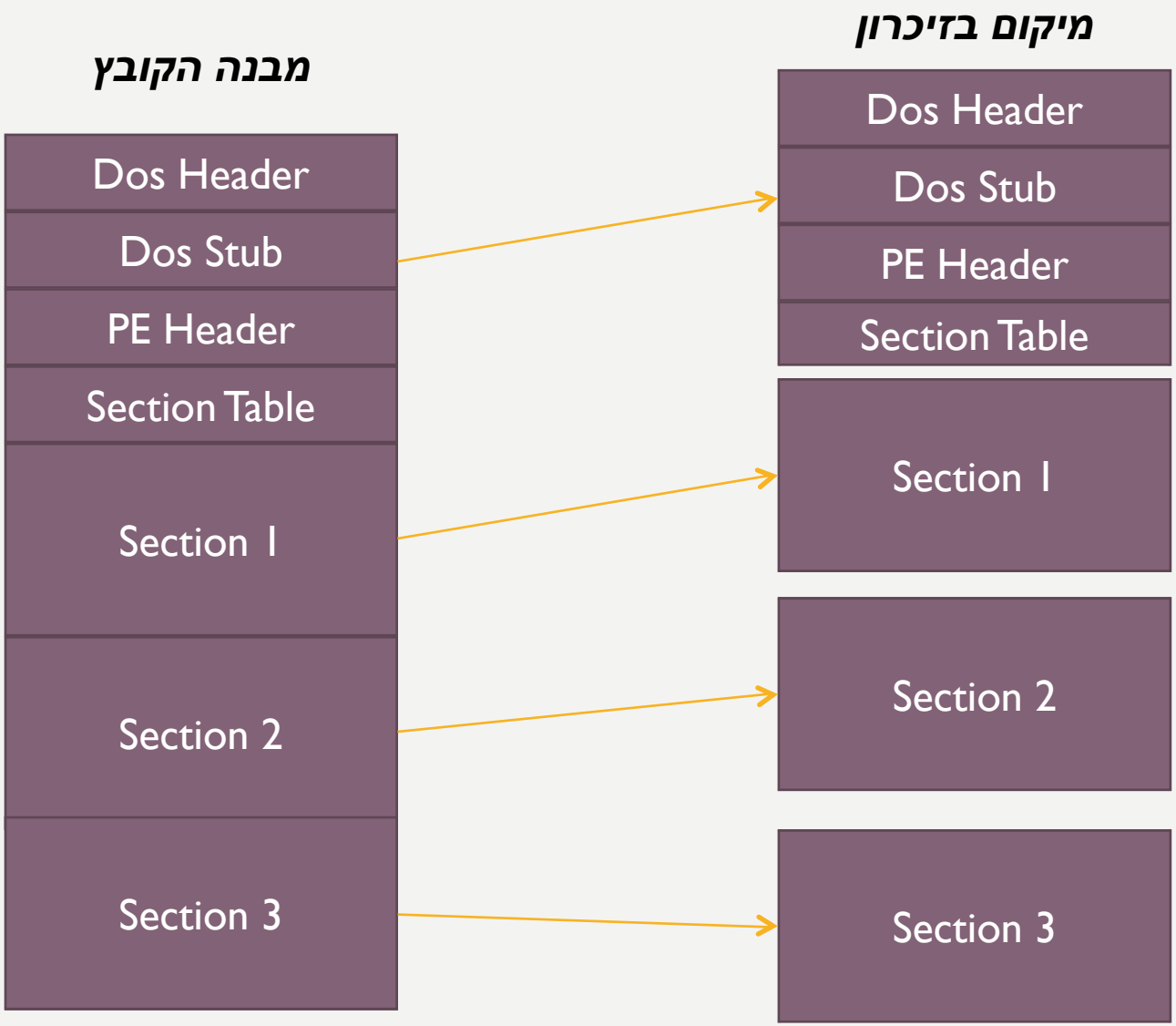
- איך נגדיר הרשאות לדפי זיכרון?
  - נרצה שמשתנים קבועים וקוד התוכנית יהיו במצב read-only בעוד שגלובליים רגילים יהיו ניתנים לכתיבה.
  - מה יקרה בקוד הבא: char * a = “abc”; a[0]=0;
- אנו נתמקד בקבצי הרצה של חלונות – מבנה PE
  - בלינוקס הפורמט דומה ונקרא ELF

סקירת מבנה PE

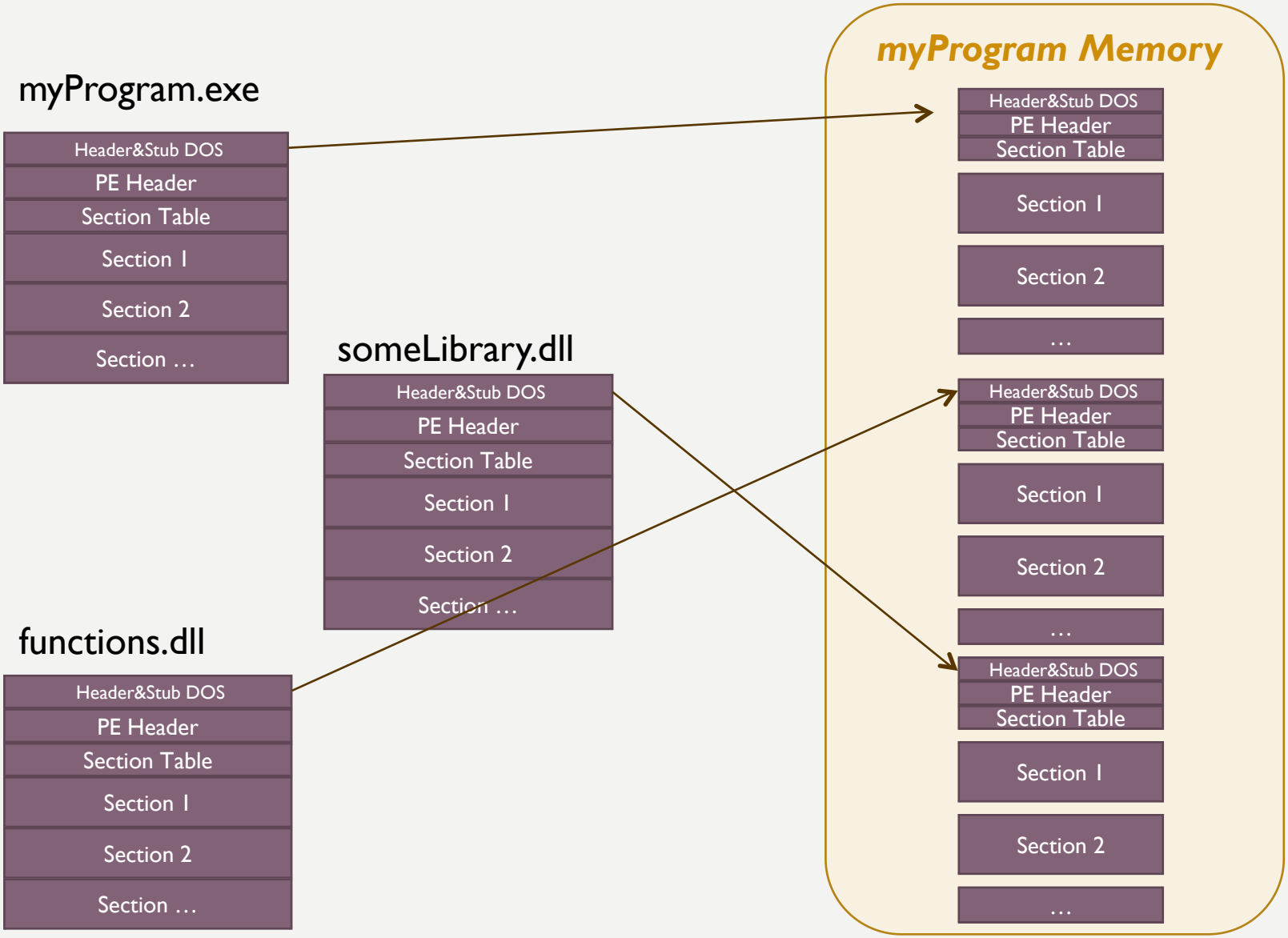
EXE/DLL file:



מיקום החלקים בזיכרון



מיקום החלקים בזיכרון



DOS HEADER & STUB

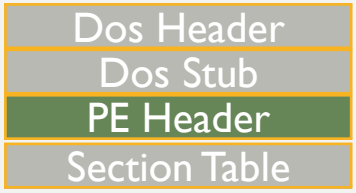
Dos Header
Dos Stub
PE Header
Section Table

- מתחיל ב MZ (כל קובץ EXE מתחיל ב MZ , תבדקו...)
- מ"ה (או מעכשיו ה Loader) מדלגת על החלק הזה וישר מתחילה מה- PE Header.
- החלק מכיל קוד אסמבלי 16 ביט. במידה ולא מריצים את הקובץ דרך מ"ה (למשל ב DOS) , אז הקוד ירוץ.
  - מדובר בקובץ הרצה DOS תקני.

```
4D 5A 90 00 03 00 00 00 04 00 00 00 FF FF 00 00  MZÉ.♥...♦...  ..
B8 00 00 00 00 00 00 00 40 00 00 00 00 00 00 00  ╕.......@.......
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ................
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 80 00 00 00  ............Ç...
0E 1F BA 0E 00 B4 09 CD 21 B8 01 4C CD 21 54 68  ♫▼╝♫.┤.=!╕☺L=!Th
69 73 20 70 72 6F 67 72 61 6D 20 63 61 6E 6E 6F  is program canno
74 20 62 65 20 72 75 6E 20 69 6E 20 44 4F 53 20  t be run in DOS 
6D 6F 64 65 2E 0D 0D 0A 24 00 00 00 00 00 00 00  mode....$.......
50 45 00 00 4C 01 05 00 32 6B 95 50 00 00 00 00  PE..L☺♣.2kòP....
```

כותרת PE

```
typedef struct _IMAGE_OPTIONAL_HEADER {
  WORD          Magic;
  BYTE          MajorLinkerVersion;
  BYTE          MinorLinkerVersion;
  DWORD         SizeOfCode;
  DWORD         SizeOfInitializedData;
  DWORD         SizeOfUninitializedData;
  DWORD         AddressOfEntryPoint;
  DWORD         BaseOfCode;
  DWORD         BaseOfData;
  DWORD         ImageBase;
  DWORD         SectionAlignment;
  DWORD         FileAlignment;
  …
  DWORD         SizeOfImage;
  DWORD         SizeOfHeaders;
  DWORD         CheckSum;
  WORD          Subsystem;
  WORD          DllCharacteristics;
…
  DWORD         SizeOfHeapCommit;
  DWORD         LoaderFlags;
  DWORD         NumberOfRvaAndSizes;
  IMAGE_DATA_DIRECTORY
  DataDirectory[IMAGE_NUMBEROF_DIRECTORY_ENTRIES];
} IMAGE_OPTIONAL_HEADER, *PIMAGE_OPTIONAL_HEADER;
```



IMAGE_NT_HEADERS STRUCT :
Signature // "PE"
FileHeader IMAGE_FILE_HEADER
OptionalHeader IMAGE_OPTIONAL_HEADER32

IMAGE_FILE_HEADER STRUCT :
Machine WORD
NumberOfSections WORD
TimeDateStamp DWORD
PointerToSymbolTable DWORD
NumberOfSymbols DWORD
SizeOfOptionalHeader WORD
Characteristics WORD

OPTIONAL HEADER

פירוט

Dos Header
Dos Stub
PE Header
Section Table

```
typedef struct _IMAGE_OPTIONAL_HEADER {
  WORD          Magic;
  BYTE          MajorLinkerVersion;
  BYTE          MinorLinkerVersion;
  DWORD         SizeOfCode;
  DWORD         SizeOfInitializedData;
  DWORD         SizeOfUninitializedData;
  DWORD         AddressOfEntryPoint;
  DWORD         BaseOfCode;
  DWORD         BaseOfData;
  DWORD         ImageBase;
  DWORD         SectionAlignment;
  DWORD         FileAlignment;
  …
  DWORD         SizeOfImage;
  DWORD         SizeOfHeaders;
  DWORD         CheckSum;
  WORD          Subsystem;
  WORD          DllCharacteristics;
…
  DWORD         SizeOfHeapCommit;
  DWORD         LoaderFlags;
  DWORD         NumberOfRvaAndSizes;
  IMAGE_DATA_DIRECTORY
  DataDirectory[IMAGE_NUMBEROF_DIRECTORY_ENTRIES];
} IMAGE_OPTIONAL_HEADER, *PIMAGE_OPTIONAL_HEADER;
```

- AddressOfEntryPoint - מהי הכתובת הראשונה להרצה.
- ImageBase - לאיפה לטעון את התוכנית (לא מובטח שהתוכנית תטען לכתובת הזאת).
- DataDirectory – בשקפים הבאים.

טבלת ה SECTIONS

Dos Header
Dos Stub
PE Header
Section Table

Array of:

```
IMAGE_SECTION_HEADER STRUCT
        Name db 8
        VirtualSize DWORD
        VirtualAddress DWORD
        SizeOfRawData DWORD
        PointerToRawData DWORD
        PointerToRelocations DWORD
        PointerToLinenumbers DWORD
        NumberOfRelocations WORD
        NumberOfLinenumbers WORD
        Characteristics DWORD
```

- Name - שם ה section
  - text. בדרך כלל מכיל קוד.
  - data. משתנים.
- VirtualSize - הגודל הנדרש ל section בזיכרון.
- Characteristics - הרשאות (Execute,read,write)

טבלת ה SECTIONS

Dos Header
Dos Stub
PE Header
Section Table

Array of:

```
IMAGE_SECTION_HEADER STRUCT
        Name db 8
        VirtualSize DWORD
        VirtualAddress DWORD
        SizeOfRawData DWORD
        PointerToRawData DWORD
        PointerToRelocations DWORD
        PointerToLinenumbers DWORD
        NumberOfRelocations WORD
        NumberOfLinenumbers WORD
        Characteristics DWORD
```

- RVA - VirtualAddress לכתובת
- שבו ה section צריך להימצא בזיכרון.
  - ***RVA*** *– relative virtual address*
  - זו כתובת יחסית החל מהמקום בו התוכנית נטענה בזיכרון.
- PointerToRawData - offset מתחילת הקובץ ל-section.
- SizeOfRawData - גודל ה section בקובץ.

טבלת ה SECTIONS

Dos Header
Dos Stub
PE Header
Section Table

Array of:

```
IMAGE_SECTION_HEADER STRUCT
        Name db 8
        VirtualSize DWORD
        VirtualAddress DWORD
        SizeOfRawData DWORD
        PointerToRawData DWORD
        PointerToRelocations DWORD
        PointerToLinenumbers DWORD
        NumberOfRelocations WORD
        NumberOfLinenumbers WORD
        Characteristics DWORD
```

- SizeOfRawData ו-VirtualSize לא בהכרח זהים.

- לעיתים SizeOfRawData יהיה גדול מ-VirtualSize, זה קורה מכיוון שהגודל של ה-Section בקובץ עשוי להיות מיושר לגודל מסוים, ולכן בסוף כל section יהיו בתים נוספים לטובת היישור (בדרך כלל אפסים).

- שימו לב ש-VirtualSize יכול גם להיות גדול מ-SizeOfRawData. למשל אם רוצים להקצות משתנים לא מאותחלים, שלא דורשים מקום בקובץ.

DATA DIRECTORY

Dos Header	
Dos Stub	
PE Header	
Section Table	

0	Export symbols
1	Import symbols
2	Resources
3	Exception Section
4	Security
5	Base relocation
6	Debug
7	Copyright string
8	?
9	Thread local storage (TLS)
10	Load configuration
11	Bound Import
12	Import Address Table
13	Delay Import
14	COM descriptor

Array of :

```
struct _IMAGE_DATA_DIRECTORY {
  DWORD VirtualAddress;  // rva
  DWORD Size;
} IMAGE_DATA_DIRECTORY
```

- ***RVA*** *– relative virtual address*
  תזכורת - זו כתובת יחסית של החל מה image base.

- כל כתובת כזאת יכולה להצביע ל section אחר. בדרך כלל רוב הרשומות לא קיימות (כלומר המצביע הוא null).

0	Export symbols
1	Import symbols
2	Resources
3	Exception Section
4	Security
5	Base relocation
6	Debug
7	Copyright string
8	?
9	Thread local storage (TLS)
10	Load configuration
11	Bound Import
12	Import Address Table
13	Delay Import
14	COM descriptor

טבלת EXPORT

מיקום פונקציות בתכנית

מבנה

```
struct _IMAGE_EXPORT_DIRECTORY {
DWORD Characteristics;
DWORD TimeDateStamp;
WORD MajorVersion;
WORD MinorVersion;
DWORD Name;
DWORD Base;
DWORD NumberOfFunctions;
DWORD NumberOfNames;
DWORD AddressOfFunctions;
DWORD AddressOfNames;
DWORD AddressOfNameOrdinals;
};
```

"kernel32.dll"

- ה Export Section מכיל את כל המידע לגבי הפונקציות שהתוכנית מייצאת.
- בדרך כלל המידע יהיה ריק עבור קבצי EXE.
- ניתן לעשות export (או import) לכל פונקציה לפי מספר (ordinal) או לפי שם.

- לכל פונקציה יש מספר, אך לא תמיד יש שם.

רשימת הכתובות

AddressOfFunctions (rva)

0	Address of Function 1000
1	Address of Function 1001
.	Address of Function 1002
.	Address
.	Address
	Address
N	Address

- המערך AddressOfFunctions מכיל כתובות לפונקציות.
- אינדקס במערך זה, בתוספת Base, הוא המספר של הפונקציה (ordinal).
- תפקיד ה-Base הוא לומר מה המספר של הפונקציה הראשונה במערך.
- בדוגמא משמאל ה-Base יחזיק את הערך 1000, וכך נניח גם בשאר השקפים.

```
DWORD Name;
DWORD Base;
DWORD AddressOfFunctions;
DWORD AddressOfNames;
DWORD AddressOfNameOrdinals;
```

גישה לפי מספר

AddressOfFunctions (rva)

0	Address of Function 1000
1	Address of Function 1001
.	Address of Function 1002
.	Address
.	Address
	Address
N	Address

עבור טעינה לפי מספר , ה-Loader מבצע את השלבים הבאים:

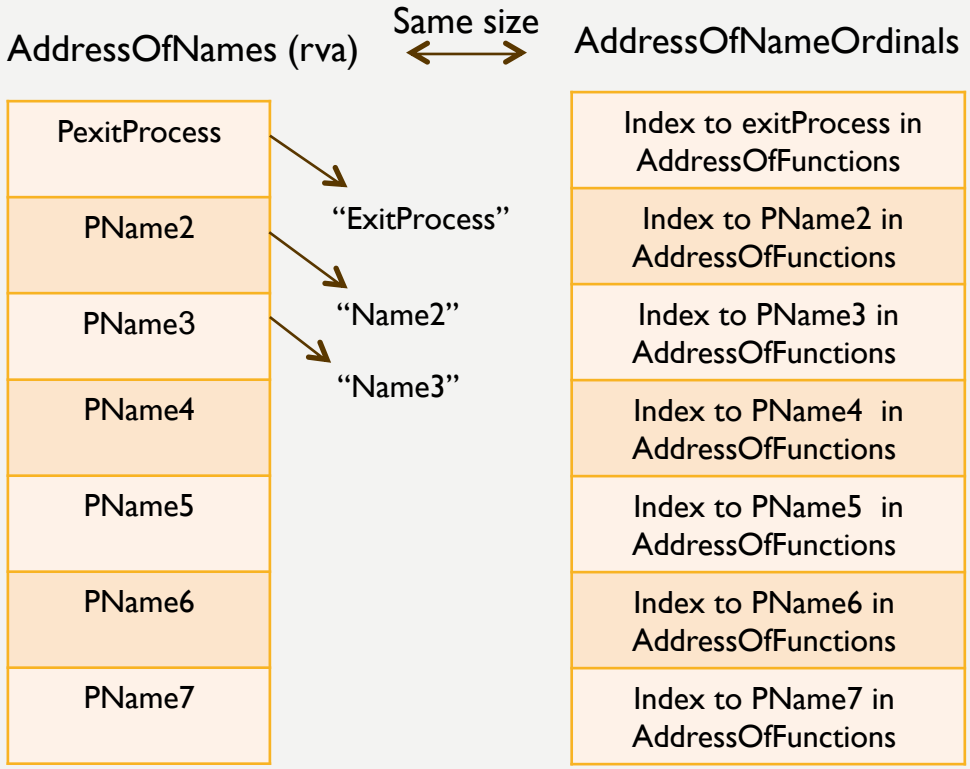
1. הפחתת Base מהמספר.
2. התוצאה היא אינדקס ל AddressOfFunctions.

```
DWORD Name;
DWORD Base;
DWORD AddressOfFunctions;
DWORD AddressOfNames;
DWORD AddressOfNameOrdinals;
```

גישה לפי שם

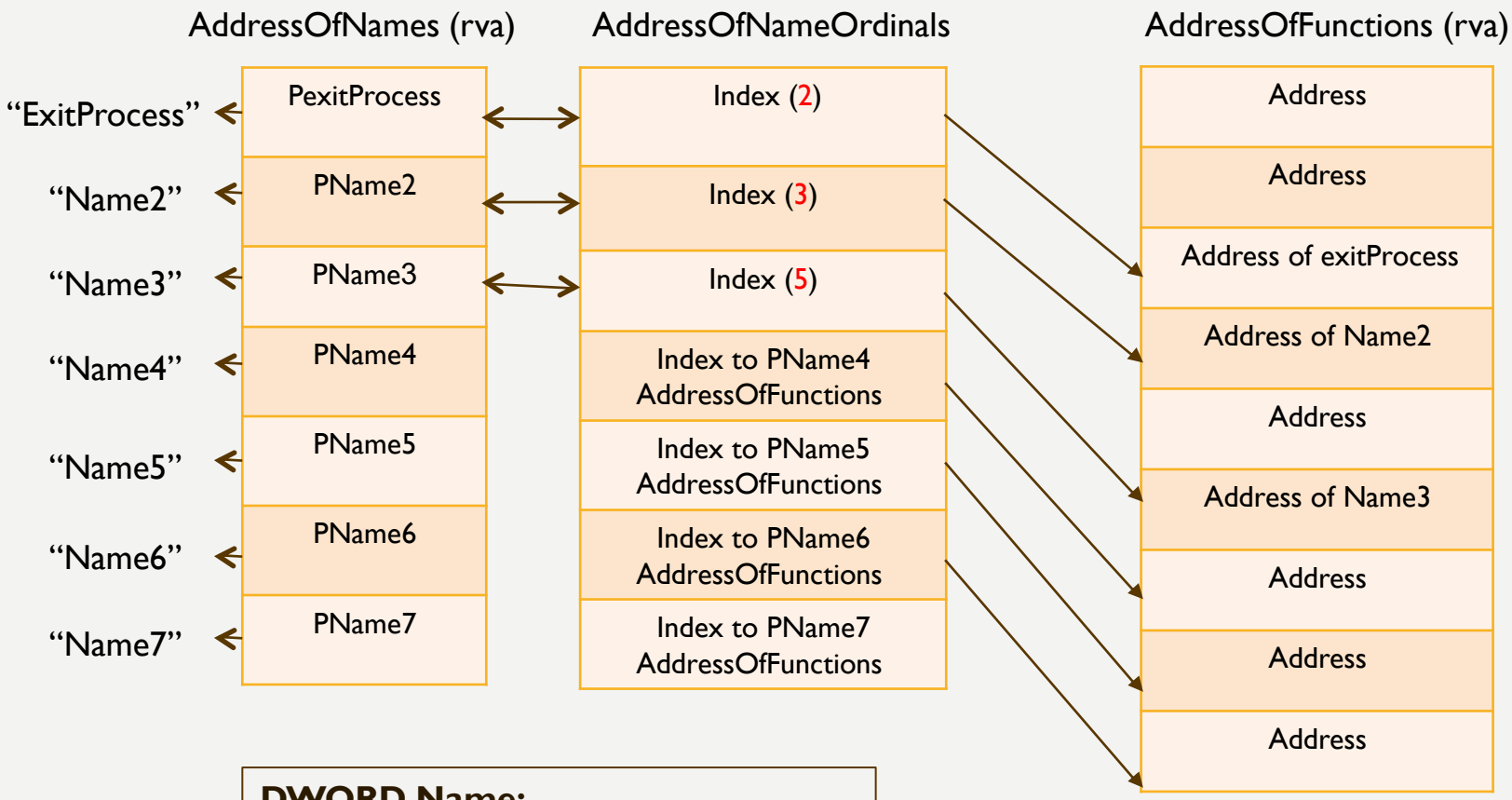
במידה ונרצה לקבל כתובת של פונקציה לפי שם, ה-Loader מבצע את השלבים הבאים:

1. יש לחפש במערך AddressOfNames את השם של הפונקציה המבוקשת. נשמור את האינדקס.
2. עם האינדקס ניגש למערך המקביל AddressOfNameOrdinals ונקבל מספר.
3. מספר זה הוא האינדקס ל AddressOfFunctions כפי שראינו בשקף הקודם. (כלומר האינדקס הוא מספר הפונקציה פחות base)




```
DWORD Name;
DWORD Base;
DWORD AddressOfFunctions;
DWORD AddressOfNames;
DWORD AddressOfNameOrdinals;
```

התמונה המלאה




```
DWORD Name;
DWORD Base;
DWORD AddressOfFunctions;
DWORD AddressOfNames;
DWORD AddressOfNameOrdinals;
```

0	Export symbols
1	Import symbols
2	Resources
3	Exception Section
4	Security
5	Base relocation
6	Debug
7	Copyright string
8	?
9	Thread local storage (TLS)
10	Load configuration
11	Bound Import
12	Import Address Table
13	Delay Import
14	COM descriptor

טבלת IMPORT

מיקום פונקציות
בספריות מערכת

מבנה

Array of structs (null terminated):

```
IMAGE_IMPORT_DESCRIPTORY STRUCT
  OriginalFirstThunk DWORD
  TimeDateStamp DWORD
  ForwarderChain  DWORD
  Name DWORD
  FirstThunk DWORD
```

Pointer to a DLL name. e.g., “kernel32.dll”.

OriginalFirstThunk And *FirstThunk* are pointers to:

Array of:

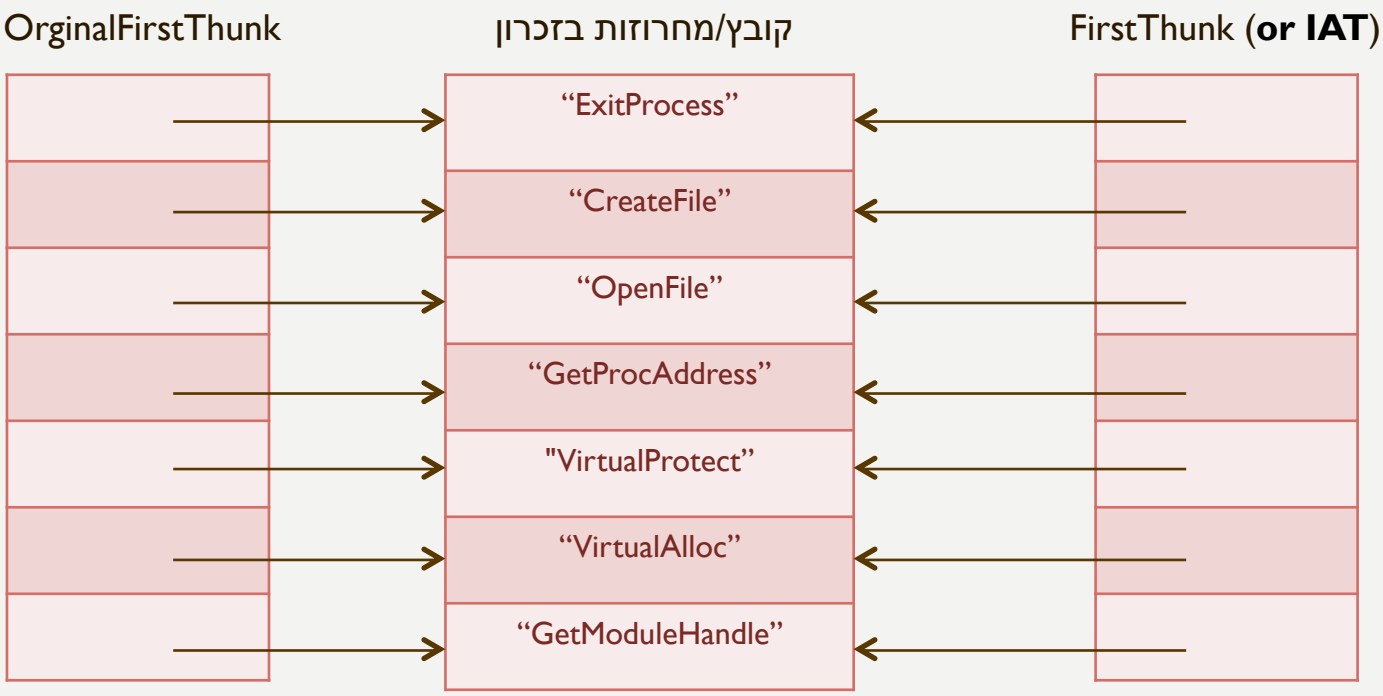
```
IMAGE_THUNK_DATA UNION
        Ordinal DD
        Name DD
```

ניתן לטעון פונקציה לפי מספר (ordinal) או לפי שם.
ה-loader בודק את ה-MSB של ה-union ואם הוא דולק סימן
שזה מספר, אחרת כתובת למחרוזת (שם הפונקציה).

תוכן בקובץ PE

Array of structs:

IMAGE_IMPORT_DESCRIPTORY STRUCT
OriginalFirstThunk DWORD
TimeDateStamp DWORD
ForwarderChain DWORD
Name DWORD → "Kernel32.dll"
FirstThunk DWORD



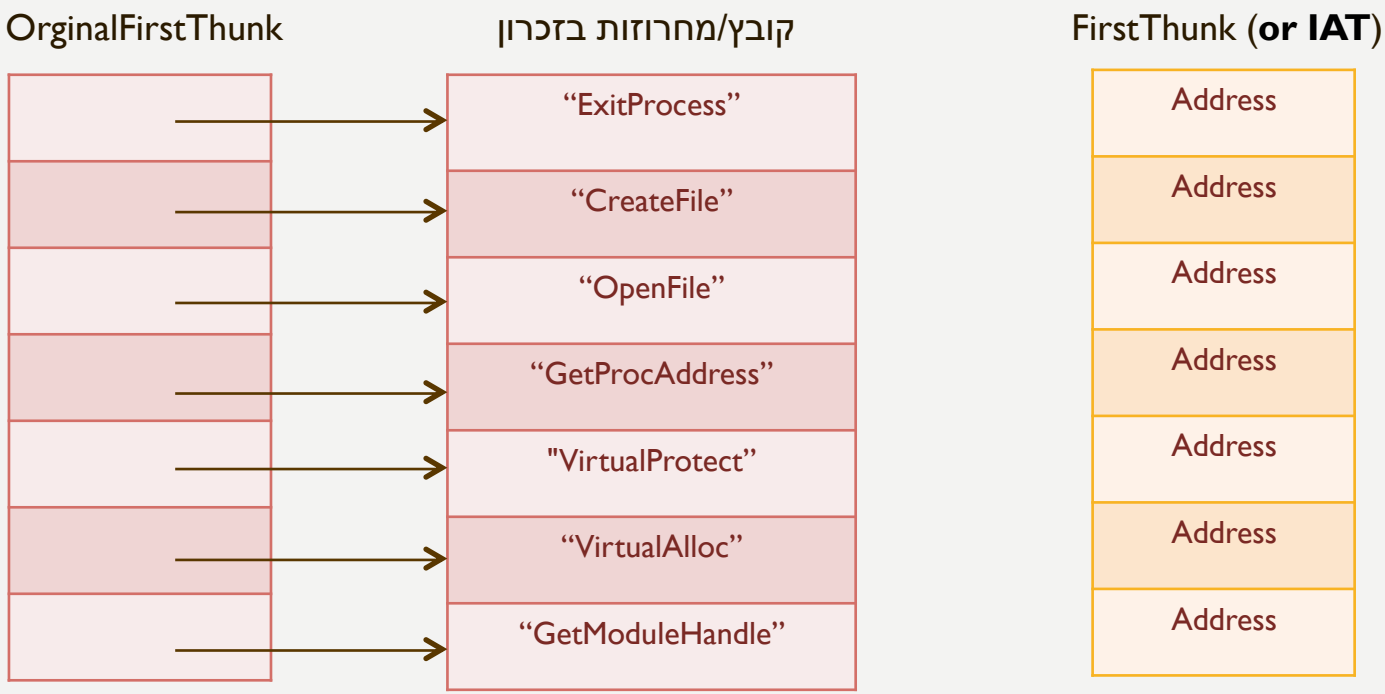
עדכון בזמן טעינה

ה Loader מבצע את השלבים הבאים:

1. חיפוש הDLL "kernel32.dll" בתיקייה של התוכנית. אם לא נמצא - חיפוש בתיקיות מערכת, לדוגמא system32.
2. טעינת ה DLL לזיכרון (העתקה לזיכרון, פרסור ה-PE, מעבר על ה import table וכו').

עדכון בזמן טעינה

3. עדכון טבלת ה-IAT עם הכתובות לפונקציות.
   - עם כתובות של הפונקציות ב-kernel32.
   - לצורך זה יש לעבור על טבלת ה-Export של kernel32.dll.



שימוש בזמן ריצה

נניח שהתוכנית שלנו נטענה ל-0x00400000 , ובכתובת 0x0040657A יש את הפקודה הבאה:

CALL DWORD PTR DS:[0040203A] ; // call to ExitProcess

0x0040203A:

IAT (at address 0x00402032)

Address
Address
0x78E03B80
Address
Address
Address
Address

Kernel32.ExitProcess

```
PUSH EBP
MOV EBP,ESP
PUSH -1
PUSH 77E8F3B0
PUSH DWORD PTR SS:[EBP+8]
```

הרשאות
והקשר הDLL

DLL וניהול זיכרון

- כל תהליך שטוען DLL ממפה אותו למרחב הזיכרון הווירטואלי שלו.
- פונקציות של DLL רצות עם ההרשאות ובהקשר של החוט (thread) של התוכנית אשר קרא להן:
  - יש שימוש באותה טבלת קבצים פתוחים
  - הDLL משתמש במחסנית ובמרחב הזיכרון של החוט אשר קרא לו
  - הDLL מקצה בheap של התהליך אשר טען אותו

חומר נוסף לקריאה
מאד מומלץ

- https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms680547(v=vs.85).aspx
- https://en.wikibooks.org/wiki/X86_Disassembly/Windows_Executable_Files
- https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_Executable
- https://en.wikipedia.org/wiki/Object_file
- https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic-link_library
- https://en.wikipedia.org/wiki/Library_(computing)#Shared_libraries
- https://en.wikipedia.org/wiki/Loader_(computing)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic-link_library#Symbol_resolution_and_binding