KCKB UPJS

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH

Financované Európskou úniou NextGenerationEU

PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

2. Analýza architektúry pamäte a exploitácia

Virtuálny adresný priestor (VAS)

Zobrazenie rozdelenia (Split):

- **Kernel Space (Vyššie adresy - 0xFFFF...):** Obsahuje kód jadra, mapovania zariadení, stránkovacie tabuľky. Nedostupné pre bežný proces (Ring 3).
- **User Space medzera (Canonical Gap):** Nevyužitá oblasť (non-canonical addresses), prístup sem vyvolá #GP (General Protection Fault).
- **User Space (Nižšie adresy - 0x0000...):**
  - **Stack (Zásobník):** Rastie smerom nadol (k nižším adresám). Obsahuje lokálne premenné, návratové adresy, stack frames.
  - **Memory Mapping Segment (mmap):** Kde sa nahrávajú zdieľané knižnice (.so súbory) a veľké alokácie pamäte.
  - **Heap (Halda):** Rastie smerom nahor (k vyšším adresám). Spravovaná cez `brk()`/`sbrk()`(hlavná aréna, menšie bloky) a `mmap()` (veľké bloky nad mmap threshold a arény vlákien).
  - **BSS / Data / Text:** Statické segmenty binárky.

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Segmenty a oprávnenia

Segment	Obsah	Oprávnenia (RWX)	Typické útoky
.text	Strojový kód programu	R-X (Read, Exec)	Code Reuse (ROP)
.rodata	Konštanty, reťazce	R-- (Read Only)	Info Leak
.data	Inicializované globálne prem.	RW- (Read, Write)	Data Corruption
.bss	Neinicializované globálne prem.	RW- (Read, Write)	Data Corruption
Heap/Stack	Dynamické dáta	RW- (Read, Write)*	Overflow, UAF, ROP
GOT/PLT	Dynamické linkovanie	RW- (Partial/No RELRO) R-- (Full RELRO)	GOT Overwrite

Financované Európskou úniou
NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Aritmetika ukazovateľov

- **Základné pravidlo:** `ptr + n` sa preloží na adresu `ptr + (n * sizeof(*ptr))`.
- **Zarovnanie (Alignment):** Prečo procesory preferujú čítanie z adries deliteľných 4 alebo 8? (Performance penalties, bus errors na iných architektúrach ako x86).
- **Nebezpečenstvo:** Ak programátor nesprávne pretypuje pointer a posunie ho, môže skončiť "uprostred" dátovej štruktúry, čím číta skomolené dáta alebo prepisuje kritické premenné.

```
struct P {
    int id;       // 4 bajty
    char name[8]; // 8 bajtov
    // padding?  // 0-4 bajty (zarovnanie)
};
struct P pole[2];
struct P *ptr = pole;

// Klasická aritmetika
int *i_ptr = (int*)ptr;
i_ptr++;     // +4 bajty

ptr++;       // +sizeof(struct P) (napr. 12 alebo 16 bajtov)
```

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Undefined Behavior (UB) a Optimalizácie

- **Filozofia C:** Programátor vie, čo robí. Kompilátor (GCC/Clang) optimalizuje agresívne.
- **Strict Aliasing Rule:** Ďalší zdroj chýb. Kompilátor predpokladá, že pointery rôznych typov neukazujú na tú istú pamäť.
- **Dôsledok:** Bezpečnostné kontroly písané v C môžu v binárke úplne zmiznúť. Útočníci to zneužívajú na vyvolanie Integer Overflow, ktorý vedie k Heap Overflow.

```
void vuln(char *ptr, int size) {
    char *end = ptr + size;
    if (end < ptr) { // Kontrola pretečenia (Wraparound)
        return; // Error
    }
    // ... zápis ...
}
```

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Úniky pamäte

Schéma typov únikov:

- **Definitely Lost:** Žiadny pointer neexistuje. (Memory Black Hole).
- **Indirectly Lost:** Pointer na rodiča stratený, deti sú stratené tiež (typické pre stromy/listy).
- **Still Reachable:** Pamäť, ktorú OS uprace po ukončení procesu (často globálne pooly), nie vždy chyba.

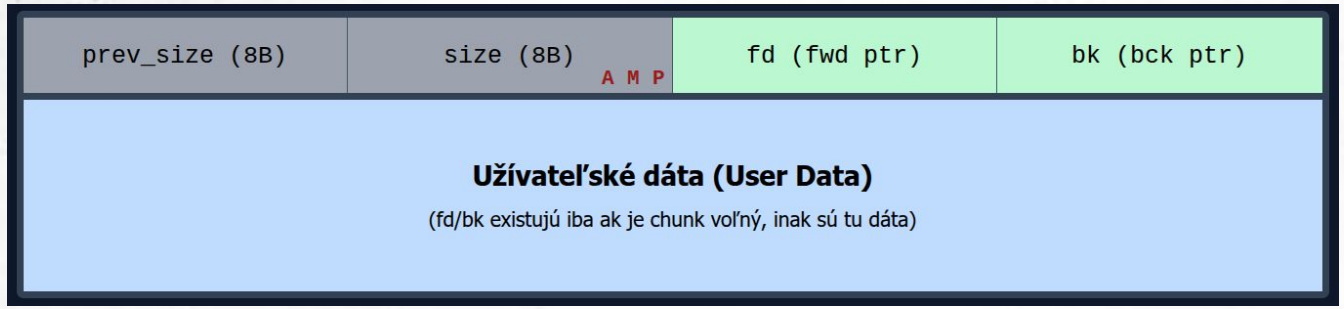
Prečo to vadí? Dlhodobo bežiace služby (daemons) vyčerpajú RAM -> OOM Killer (Out Of Memory) zabije proces -> DoS (Denial of Service).

Bezpečnostný dopad: Memory Leaks (DoS): Zapríčinia vyčerpanie pamäte a pád služby. Heap Grooming / Feng Shui: Cielená manipulácia s alokáciami a voľnými blokmi (často legálnymi) s cieľom usporiadať haldu do predvídateľného stavu pred samotnou exploitáciou.

Nástroje: Valgrind je pomalý (emulácia CPU), ASan je rýchly (compile-time inštrumentácia).

Financované Európskou úniou
NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Anatómia Chunku (Malloc Chunk)



- Size Flags (AMP): Spodné 3 bity veľkosti.
  - `P (Prev_Inuse)` : 0 = predchádzajúci chunk je voľný (umožňuje spájanie).
  - `M (Mmap)` : Alokované cez mmap.
  - `A (Non-Main Arena)`: `0 = Main Arena, 1 = Thread Arena.`
- Zraniteľnosť spočíva v prepísaní metadát susedného chunku (Heap Overflow).

- **In-band Metadata:** Toto je Achillova päta ptmallocu. Metadáta, ktoré riadia štruktúru haldy, sú uložené hneď vedľa dát, ktoré ovláda útočník.
- **Heap Overflow:** Stačí prepísať `size` pole nasledujúceho chunku, aby sme zmenili jeho veľkosť, alebo zmazať `P` bit, aby si alokátor myslel, že predchádzajúci chunk je voľný (vyvolanie `unlink` makra).

Financované Európskou úniou
NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Algoritmus alokátora a Bins (Koše)

Vývojový diagram alokácie:

1. Požiadavka `malloc(size)`.
2. Sedí do Tcache? -> Áno -> Vráť okamžite (LIFO).
3. Sedí do Fastbin? -> Áno -> Vráť (LIFO).
4. Je v Unsorted Bin? -> Prejdi zoznam, ak nájdeš presnú zhodu, vráť. Ak nie, roztrieď do Small/Large bins.
5. Hľadaj v Small/Large bins.
6. Top Chunk (odkroj z konca haldy).

Financované Európskou úniou
NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Stack Buffer Overflow

Stack Frame (alokácia):

1. Zavolanie funkcie: `call func` -> push RIP.
2. Prológ: `push rbp`, `mov rbp, rsp`, `sub rsp, 0x40` (alokácia buffera).
3. **Vstup:** `strcpy(buf, user_input)`.
4. **Pretečenie:** Dáta `AAAA...` zaplnia buffer, prepíšu Saved RBP a nakoniec Saved RIP.
5. Epilóg: `leave` (obnoví stack), `ret` (pop RIP -> skok na `0x41414141` -> SegFault).

```
void vuln(char *input) { char
buf[64]; // Bez kontroly dĺžky!
strcpy(buf, input); }
```

Ak vstup presiahne 64 bajtov + veľkosť RBP (8B), prepíšeme Return Address. Pri inštrukcii ret procesor skočí na nami zvolenú adresu (Shellcode alebo ROP).

Financované Európskou úniou
NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Off-by-One & Stack Pivoting

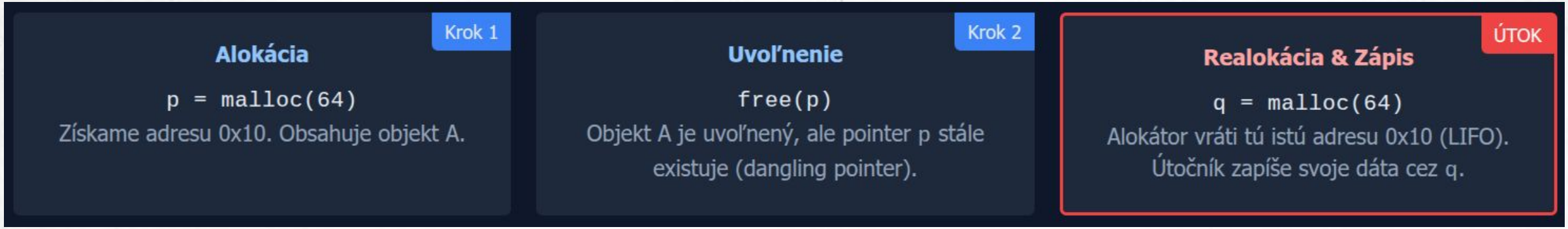
- Čo ak môžeme prepísať len jeden bajt za hranicou buffera?
- Tento bajt je zvyčajne najmenej významný bajt (LSB) uloženého Saved RBP.

```
Pôvodný RBP: 0x7fffffffe4b0
Po prepise:   0x7fffffffe400 (LSB zmenené na 00)
```

1. Funkcia končí sekvenciou `leave; ret`.
2. `leave` = `mov rsp, rbp; pop rbp`.
3. Stack Pointer (RSP) sa presunie na falošnú adresu (posun o x bajtov nižšie).
4. Zásobník je "otočený" (pivoted) do oblasti, ktorú kontroluje útočník.

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Use-After-Free (UAF)



Ak teraz program použije pôvodný pointer p (napr. zavolá funkciu cez pointer v štruktúre), vykoná kód útočníka, ktorý tam bol zapísaný v kroku 3.

Financované Európskou úniou
NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tcache Poisoning & Double Free

- Manipulácia zreťazeného zoznamu voľných blokov.

```
// Double Free free(ptr); free(ptr);
// V glibc 2.26–2.28 neexistovala kontrola dvojitého uvoľnenia v Tcache.
// Od glibc 2.29 bola pridaná kontrola pomocou poľa key.
// ptr pridaný do zoznamu 2x.
// Zoznam: Head -> ptr -> ptr -> …
```

- Následný `malloc` vráti `ptr`. Útočník do neho zapíše adresu cieľa (napr. `&stack_var`). Keďže `ptr` je stále v zozname ako "next", prepíšeme `fd` pointer.

Head -> ptr -> [Cieľ Útočníka]

- Ďalší `malloc` vráti cieľovú adresu -> Arbitrary Write Primitive.

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Ochranné mechanizmy (Mitigácie)

ASLR
Randomizácia adries. Vyžaduje **Information Leak** na zistenie bázy knižnice alebo haldy.

NX / DEP
No-Execute. Zásobník a halda nie sú spustiteľné. Zabraňuje klasickému shellcodu. Riešenie: **ROP**.

Stack Canaries
Náhodná hodnota pred RBP. Pri zmene program spadne.
Riešenie: Leak kanárika.

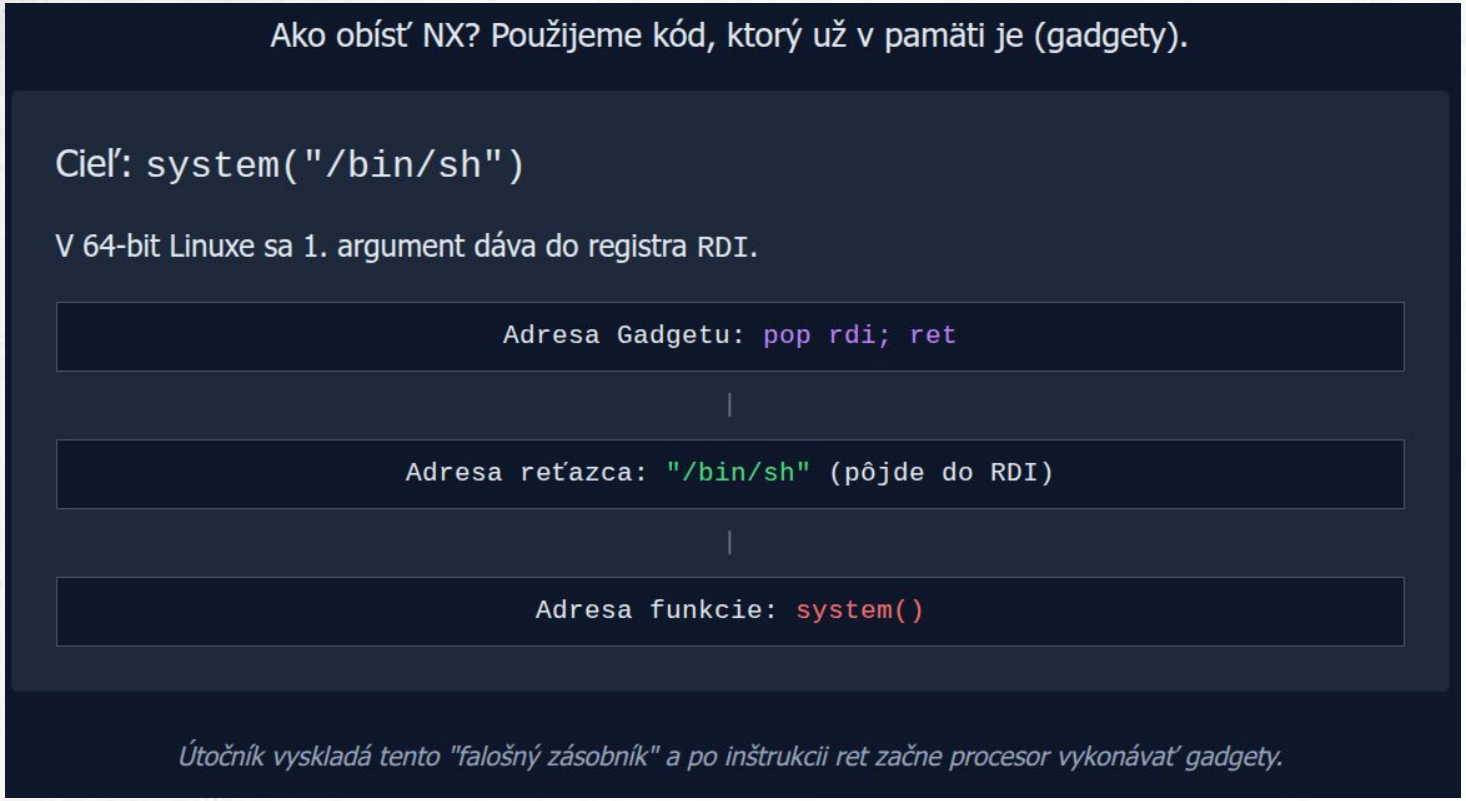
Safe-Linking (GLIBC 2.32+)
Ochrana `fd` pointera v Tcache/Fastbins.

```
Stored_Ptr = (Addr >> 12) ^ Ptr
```

Útočník musí poznať adresu haldy, aby správne podvrhol pointer.

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Return Oriented Programming (ROP)



Poznámka: Praktický problém (64-bit): Volanie funkcie system() vyžaduje zarovnanie zásobníka (RSP) na 16 bajtov kvôli inštrukcii movaps. Ak zásobník nie je zarovnaný, exploit skončí Segfaultom. Riešením je pridať do chainu jeden extra 'ret' gadget na posunutie RSP.

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Záver a trendy

Boj medzi útočníkmi a obrancami je neustály. Zatiaľ čo jednoduché pretečenia zásobníka miznú, exploitácia haldy sa stáva dominantnou, hoci zložitejšou (séria útokov "House of X" ako House of Force/Spirit, Tcache poisoning).

- Ofenzíva: Automatizované hľadanie gadgetov, útoky na logiku alokátora.
- Defenzíva: Hardware mitigácie (Intel CET), prechod na memory-safe jazyky (Rust).

Financované Európskou úniou NextGenerationEU
PLÁN OBNOVY
MINISTERSTVO INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA A INFORMATIZÁCIE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

KCKB UPJS

UNIVERZITA
PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA
V KOŠICIACH

Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO
INVESTÍCIÍ, REGIONÁLNEHO ROZVOJA
A INFORMATIZÁCIE
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Ďakujem za pozornosť.