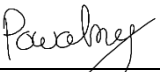
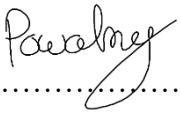
Kierunek:	Nazwa zajęć:	Ocena:
CBE	**LABORATORIUM SIECI BEZPRZEWODOWYCH**	
Nr. ćwiczenia:	**Tytuł ćwiczenia:**	
1	Bezpieczeństwo systemów Bluetooth Classic oraz Bluetooth Low Energy	

Termin:	Data wykonania ćwiczenia:	Nr. grupy:
Piątek 11:15 gr. P	**17.10.2025**	**1**

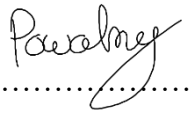
Osoby wykonujące ćwiczenie:	Podpisy:
Adam Wiktor	
Kacper Powolny	
Mateusz Jakoniuk	

Sprawozdanie wykonał:	**Adam Wiktor**
Data wykonania sprawozdania:	**25.10.2025**
Sprawozdanie sprawdził:	**dr. inż. Michał Kowal**

Oświadczam, że zapoznałem/łam się ze niniejszym sprawozdaniem i uważam je za poprawnie wykonane:

 …….  …….  …….

Oświadczam/y iż poniższe sprawozdanie zostało wykonane przeze mnie/nas samodzielnie:

 …….  …….  …….

Cel ćwiczenia

1. Zgłębienie aspektów bezpieczeństwa systemów Bluetooth Classic oraz Bluetooth Low Energy.
2. Zapoznanie się z metodami ataku na system Bluetooth.
3. Zrozumienie podatności systemu Bluetooth.
4. Zapoznanie się z narzędziami do testowania bezpieczeństwa sieci Bluetooth zawartych w systemie Kali Linux.

Wykorzystany sprzęt i oprogramowanie

1. Dwa komputery z systemem operacyjnym Kali Linux.
2. Laptop z systemem operacyjnym Arch Linux.
3. Dwa adaptery Bluetooth.
4. Słuchawki SteelSeries Arctis Nova 5X.
5. Telefon Pixel 8 Pro.
6. Telefon iPhone.
7. Oprogramowanie zawarte w systemie operacyjnym Kali Linux.

Przebieg ćwiczenia

Rekonesans

```
sudo hciconfig
```

hci0: DOWN, adapter należy włączyć.

```
sudo hciconfig hci0 up
```

Ze względu na błąd (RF-KILL 132) musieliśmy dodatkowo wykonać komendę - `rfkill unblock bluetooth`, po wykonaniu tych dwóch:

hci0: UP RUNNING.

```
sudo hcitool scan
```

Scanning… Pierwszy skan nie zwrócić niczego, ale później udało się znaleźć urządzenia:

- **20:AF:1B:0B:07:CE SteelSeries Arctis Nova 5X**
- **5C:33:7B:F7:4F:7D Pixel 8 Pro**
- **08:C8:C2:73:E1:0D Adapter Bluetooth – Kali Linux**
- 28:C1:A0:3D:06:72 iPhone (Kacper)

W kolejnych zadaniach skupimy się na pierwszych trzech urządzeniach.

```
sudo hcitool info <adres MAC>
```

```
Requesting information ...
        BD Address:  20:AF:1B:0B:07:CE
        OUI Company: SteelSeries ApS (20-AF-1B)
        Device Name: SteelSeries Arctis Nova 5X
        LMP Version: 5.3 (0xc) LMP Subversion: 0x8773
        Manufacturer: Realtek Semiconductor Corporation (93)
        Features page 0: 0xff 0xff 0xff 0xfa 0xdb 0xfd 0x7b 0x87
                <3-slot packets> <5-slot packets> <encryption> <slot offset>
                <timing accuracy> <role switch> <hold mode> <sniff mode>
                <park state> <RSSI> <channel quality> <SCO link> <HV2 packets>
                <HV3 packets> <u-law log> <A-law log> <CVSD> <paging scheme>
                <power control> <transparent SCO> <broadcast encrypt>
                <EDR ACL 2 Mbps> <enhanced iscan> <interlaced iscan>
                <interlaced pscan> <inquiry with RSSI> <extended SCO>
                <EV4 packets> <EV5 packets> <AFH cap. perip.>
                <AFH cls. perip.> <LE support> <3-slot EDR ACL>
                <5-slot EDR ACL> <pause encryption> <AFH cap. central>
                <AFH cls. central> <EDR eSCO 2 Mbps> <EDR eSCO 3 Mbps>
                <3-slot EDR eSCO> <extended inquiry> <LE and BR/EDR>
                <simple pairing> <encapsulated PDU> <err. data report>
                <non-flush flag> <LSTO> <inquiry TX power> <EPC>
                <extended features>
        Features page 1: 0x03 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
        Features page 2: 0x20 0x08 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
```

```
➜  ~ sudo hcitool info 5C:33:7B:F7:4F:7D
Requesting information ...
        BD Address:  5C:33:7B:F7:4F:7D
        OUI Company: Google, Inc. (5C-33-7B)
        Device Name: Pixel 8 Pro
        LMP Version: 5.4 (0xd) LMP Subversion: 0x8113
        Manufacturer: Broadcom Corporation (15)
        Features page 0: 0xbf 0xfe 0x8f 0xfe 0xdb 0xff 0x7b 0x87
                <3-slot packets> <5-slot packets> <encryption> <slot offset>
                <timing accuracy> <role switch> <sniff mode> <RSSI>
                <channel quality> <SCO link> <HV2 packets> <HV3 packets>
                <u-law log> <A-law log> <CVSD> <paging scheme> <power control>
                <transparent SCO> <broadcast encrypt> <EDR ACL 2 Mbps>
                <EDR ACL 3 Mbps> <enhanced iscan> <interlaced iscan>
                <interlaced pscan> <inquiry with RSSI> <extended SCO>
                <EV4 packets> <EV5 packets> <AFH cap. perip.>
                <AFH cls. perip.> <LE support> <3-slot EDR ACL>
                <5-slot EDR ACL> <sniff subrating> <pause encryption>
                <AFH cap. central> <AFH cls. central> <EDR eSCO 2 Mbps>
                <EDR eSCO 3 Mbps> <3-slot EDR eSCO> <extended inquiry>
                <LE and BR/EDR> <simple pairing> <encapsulated PDU>
                <err. data report> <non-flush flag> <LSTO> <inquiry TX power>
                <EPC> <extended features>
        Features page 1: 0x0b 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
        Features page 2: 0x33 0x0f 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
```

```
➜  ~ sudo hcitool  info  08:C8:C2:73:E1:0D
Requesting information ...
        BD Address:  08:C8:C2:73:E1:0D
        OUI Company: GN Audio A/S (08-C8-C2)
        Device Name: kali
        LMP Version: 4.0 (0x6) LMP Subversion: 0x2031
        Manufacturer: Cambridge Silicon Radio (10)
        Features page 0: 0xff 0xff 0x8f 0xfe 0xdb 0xff 0x5b 0x87
                <3-slot packets> <5-slot packets> <encryption> <slot offset>
                <timing accuracy> <role switch> <hold mode> <sniff mode>
                <park state> <RSSI> <channel quality> <SCO link> <HV2 packets>
                <HV3 packets> <u-law log> <A-law log> <CVSD> <paging scheme>
                <power control> <transparent SCO> <broadcast encrypt>
                <EDR ACL 2 Mbps> <EDR ACL 3 Mbps> <enhanced iscan>
                <interlaced iscan> <interlaced pscan> <inquiry with RSSI>
                <extended SCO> <EV4 packets> <EV5 packets> <AFH cap. perip.>
                <AFH cls. perip.> <LE support> <3-slot EDR ACL>
                <5-slot EDR ACL> <sniff subrating> <pause encryption>
                <AFH cap. central> <AFH cls. central> <EDR eSCO 2 Mbps>
                <EDR eSCO 3 Mbps> <3-slot EDR eSCO> <extended inquiry>
                <LE and BR/EDR> <simple pairing> <encapsulated PDU>
                <non-flush flag> <LSTO> <inquiry TX power> <EPC>
                <extended features>
        Features page 1: 0x03 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00
```

Wynik 1: hcitool dla słuchawek, telefonu i laptopa

Poza adresem MAC widać dodatkowo informacje o producencie, nazwę urządzenia, wersję protokołu LMP (służącego do zarządzania połączeniami Bluetooth), a także „Features page", o których można więcej poczytać w specyfikacji standardu Bluetooth.

```
sudo hcitool inq
```

```
➜  ~ sudo hcitool inq
Inquiring ...
        08:C8:C2:73:E1:0D       clock offset: 0x751a    class: 0x6c010c
        5C:33:7B:F7:4F:7D       clock offset: 0x5cf6    class: 0x5a420c
        20:AF:1B:0B:07:CE       clock offset: 0x23ff    class: 0x240418
```

Wynik 2: hcitool inq wykonany w pobliskiej sieci – widoczny kolejno laptop, telefon i słuchawki

Komenda zwraca listę urządzeń Bluetooth w zasięgu wraz z ich adresem MAC – dokładnie te same, co opisaliśmy wcześniej. Obok tych fizycznych adresów widać clock offset (potrzebny do synchronizacji) oraz klasę – opisuje ona typ urządzenia, lecz zwracana jest ona jako liczba szesnastkowa.

```
sudo btscanner
```

`btscanner` pokazuje bardzo podobne informacje o tych samych trzech urządzeniach, ale jest interaktywny. Dodatkowo, ten program „tłumaczy" nazwy klas na rzeczywiste typy urządzeń – laptop, słuchawki, telefon. Po wybraniu urządzenia, można dokonać jego dokładniejszej analizy, podobnej do tej przedstawionej w hcitool info. Widoczne są jednak jeszcze inne informacje, takie jak „First seen", „Last seen", „Vulnerable to", „Services". Z niewyjaśnionego jednak powodu to narzędzie nie było w stanie dokonać poprawnej analizy

słuchawek SteelSeries – zwrócone zostało n/a zamiast rzeczywistych informacji, które zostały znalezione przez poprzedni program.

```
Time                  Address           Clk off  Class     Name
2025/10/17 11:51:13   08:C8:C2:73:E1:0D 0x7510   0x6c010c  kali
2025/10/17 11:51:10   5C:33:7B:F7:4F:7D 0x5ced   0x5a420c  Pixel 8 Pro
2025/10/17 11:51:11   20:AF:1B:0B:07:CE 0x23f7   0x240418  SteelSeries Arctis Nova 5X
```

Poniżej można zobaczyć dokładne opisy trzech urządzeń, na których się skupiliśmy

```
RSSI:    +0   LQ:  000    TXPWR:  Cur   +0
Address:       08:C8:C2:73:E1:0D
Found by:      00:01:95:7D:ED:BD
OUI owner:
First seen:    2025/10/17 11:50:30
Last seen:     2025/10/17 11:51:51
Name:          kali
Vulnerable to:
Clk off:       0x7510
Class:         0x6c010c
               Computer/Laptop
Services:      Rendering,Capturing,Audio,Telephony

HCI Version
-----------
LMP Version: 4.0 (0x6) LMP Subversion: 0x2031
Manufacturer: Cambridge Silicon Radio (10)

HCI Features
------------
Features:     0xff 0xff 0x8f 0xfe
    <3-slot packets> <5-slot packets> <encryption> <slot offset>
    <timing accuracy> <role switch> <hold mode> <sniff mode> <park state>
    <RSSI> <channel quality> <SCO link> <HV2 packets> <HV3 packets>
    <u-law log> <A-law log> <CVSD> <paging scheme> <power control>
    <transparent SCO> <broadcast encrypt> <EDR ACL 2 Mbps>
    <EDR ACL 3 Mbps> <enhanced iscan> <interlaced iscan>
    <interlaced pscan> <inquiry with RSSI> <extended SCO> <EV4 packets>
    <EV5 packets> <AFH cap. perip.> <AFH cls. perip.> <LE support>
    <3-slot EDR ACL> <5-slot EDR ACL> <sniff subrating>
    <pause encryption> <AFH cap. central> <AFH cls. central>
    <EDR eSCO 2 Mbps> <EDR eSCO 3 Mbps> <3-slot EDR eSCO>
    <extended inquiry> <LE and BR/EDR> <simple pairing>
    <encapsulated PDU> <non-flush flag> <LSTO> <inquiry TX power> <EPC>
    <extended features>
```

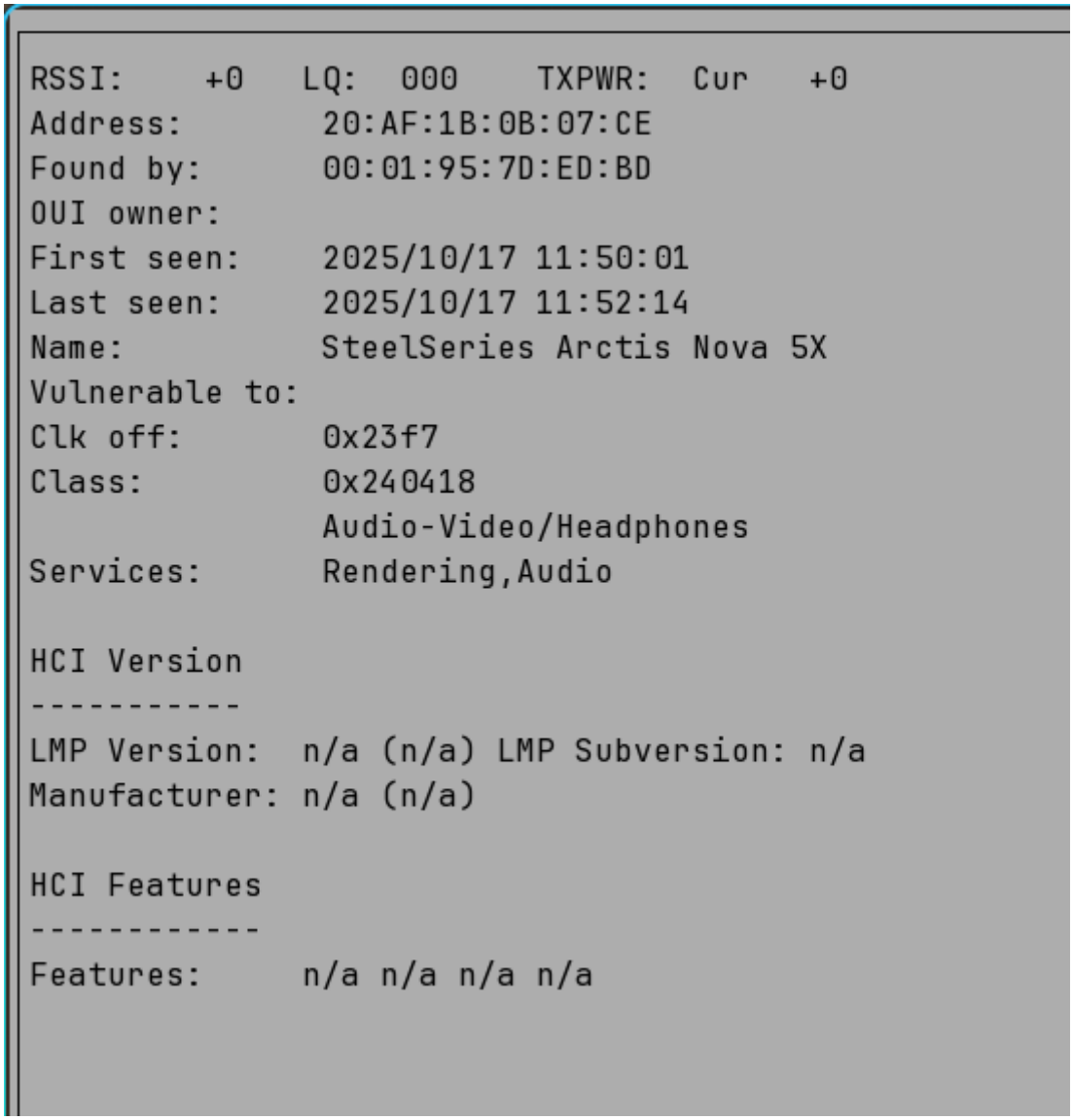
Wynik 3: Opis laptopa Kali Linux wykonany btscanner

```
RSSI:    +0   LQ:  000    TXPWR:  Cur   +0
Address:       5C:33:7B:F7:4F:7D
Found by:      00:01:95:7D:ED:BD
OUI owner:
First seen:    2025/10/17 11:50:03
Last seen:     2025/10/17 11:51:49
Name:          Pixel 8 Pro
Vulnerable to:
Clk off:       0x5cee
Class:         0x5a420c
               Phone/Smart phone
Services:      Reserved,Networking,Capturing,Object Transfer,Telephony

HCI Version
-----------
LMP Version: 5.4 (0xd) LMP Subversion: 0x8113
Manufacturer: Broadcom Corporation (15)

HCI Features
------------
Features:     0xbf 0xfe 0x8f 0xfe
    <3-slot packets> <5-slot packets> <encryption> <slot offset>
    <timing accuracy> <role switch> <sniff mode> <RSSI> <channel quality>
    <SCO link> <HV2 packets> <HV3 packets> <u-law log> <A-law log> <CVSD>
    <paging scheme> <power control> <transparent SCO> <broadcast encrypt>
    <EDR ACL 2 Mbps> <EDR ACL 3 Mbps> <enhanced iscan> <interlaced iscan>
    <interlaced pscan> <inquiry with RSSI> <extended SCO> <EV4 packets>
    <EV5 packets> <AFH cap. perip.> <AFH cls. perip.> <LE support>
    <3-slot EDR ACL> <5-slot EDR ACL> <sniff subrating>
    <pause encryption> <AFH cap. central> <AFH cls. central>
    <EDR eSCO 2 Mbps> <EDR eSCO 3 Mbps> <3-slot EDR eSCO>
    <extended inquiry> <LE and BR/EDR> <simple pairing>
    <encapsulated PDU> <err. data report> <non-flush flag> <LSTO>
    <inquiry TX power> <EPC> <extended features>
```

Wynik 4: Opis telefonu Pixel wykonany btscanner



Wynik 5: niekompletny opis słuchawek SteelSeries wykonany btscanner

```
sudo l2ping <adres MAC>
```

Ping wykonany na wszystkie urządzenia zakończył się sukcesem – odpowiadają ode na pakiety.

```
Ping: 20:AF:1B:0B:07:CE from 00:01:95:7D:ED:BD (data size 44) ...
44 bytes from 20:AF:1B:0B:07:CE id 0 time 13.82ms
44 bytes from 20:AF:1B:0B:07:CE id 1 time 30.17ms
44 bytes from 20:AF:1B:0B:07:CE id 2 time 7.40ms
44 bytes from 20:AF:1B:0B:07:CE id 3 time 7.12ms
44 bytes from 20:AF:1B:0B:07:CE id 4 time 7.59ms
44 bytes from 20:AF:1B:0B:07:CE id 5 time 9.95ms
```

```
➜  ~ sudo l2ping 5C:33:7B:F7:4F:7D
Ping: 5C:33:7B:F7:4F:7D from 00:01:95:7D:ED:BD (data size 44) ...
44 bytes from 5C:33:7B:F7:4F:7D id 0 time 104.46ms
44 bytes from 5C:33:7B:F7:4F:7D id 1 time 116.28ms
44 bytes from 5C:33:7B:F7:4F:7D id 2 time 84.82ms
44 bytes from 5C:33:7B:F7:4F:7D id 3 time 91.92ms
```

```
➜  ~ sudo l2ping 08:C8:C2:73:E1:0D
Ping: 08:C8:C2:73:E1:0D from 00:01:95:7D:ED:BD (data size 44) ...
44 bytes from 08:C8:C2:73:E1:0D id 0 time 12.88ms
44 bytes from 08:C8:C2:73:E1:0D id 1 time 50.88ms
44 bytes from 08:C8:C2:73:E1:0D id 2 time 62.08ms
44 bytes from 08:C8:C2:73:E1:0D id 3 time 30.91ms
```

Wynik 6: l2ping wykonany dla słuchawek, telefonu i laptopa

`sudo sdptool browse <adres MAC>`

`sdptool`, jak nazwa wskazuje, służy do aktywowania protokołu SDP (Service Discovery Protocol) do analizowania dostępnych urządzeń Bluetooth i odpalonych na nich serwisach. Na każdym z urządzeń można zauważyć serwisy (znalezione lub nieznalezione – PnP, RecHandle) oraz powiązane z nimi protokoły (L2CAP, AVCTP, ATT).

```
➜  ~ sudo sdptool browse 20:AF:1B:0B:07:CE
Browsing 20:AF:1B:0B:07:CE ...
Service RecHandle: 0x10001
Service Class ID List:
  "PnP Information" (0x1200)
Language Base Attr List:
  code_ISO639: 0x656e
  encoding:    0x6a
  base_offset: 0x100
Profile Descriptor List:
  "PnP Information" (0x1200)
    Version: 0x0103

Browsing 20:AF:1B:0B:07:CE ...
Service Search failed: Invalid argument
Service RecHandle: 0x10002
Service Class ID List:
  "Audio Sink" (0x110b)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 25
  "AVDTP" (0x0019)
    uint16: 0x0103
Profile Descriptor List:
  "Advanced Audio" (0x110d)
    Version: 0x0104

Service RecHandle: 0x10003
Service Class ID List:
  "AV Remote" (0x110e)
  "AV Remote Controller" (0x110f)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 23
  "AVCTP" (0x0017)
    uint16: 0x0104
Profile Descriptor List:
  "AV Remote" (0x110e)
    Version: 0x0106
```

```
➜  ~ sudo sdptool browse 5C:33:7B:F7:4F:7D
Browsing 5C:33:7B:F7:4F:7D ...
Service RecHandle: 0x10000
Service Class ID List:
  "Generic Attribute" (0x1801)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 31
  "ATT" (0x0007)
    uint16: 0x0001
    uint16: 0x0009

Service RecHandle: 0x10001
Service Class ID List:
  "Generic Access" (0x1800)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 31
  "ATT" (0x0007)
    uint16: 0x0014
    uint16: 0x001a

Service Name: Advanced Audio Source
Service RecHandle: 0x10003
Service Class ID List:
  "Audio Source" (0x110a)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 25
  "AVDTP" (0x0019)
    uint16: 0x0103
Profile Descriptor List:
  "Advanced Audio" (0x110d)
    Version: 0x0104
```

```
➜  ~ sudo sdptool browse 08:C8:C2:73:E1:0D
Browsing 08:C8:C2:73:E1:0D ...
Service RecHandle: 0x10000
Service Class ID List:
  "PnP Information" (0x1200)
Profile Descriptor List:
  "PnP Information" (0x1200)
    Version: 0x0103

Browsing 08:C8:C2:73:E1:0D ...
Service Search failed: Invalid argument
Service Name: Generic Access Profile
Service Provider: BlueZ
Service RecHandle: 0x10001
Service Class ID List:
  "Generic Access" (0x1800)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 31
  "ATT" (0x0007)
    uint16: 0x0001
    uint16: 0x0005

Service Name: Generic Attribute Profile
Service Provider: BlueZ
Service RecHandle: 0x10002
Service Class ID List:
  "Generic Attribute" (0x1801)
Protocol Descriptor List:
  "L2CAP" (0x0100)
    PSM: 31
  "ATT" (0x0007)
    uint16: 0x0006
    uint16: 0x000f
```

Wynik 7: Analiza sdptool brose słuchawek, telefonu i laptopa

`sudo bettercap`

Pozwala on na analizę wielu typów ruchu bezprzewodowego, ale działa również dla Bluetooth. Po uruchomieniu szukane są urządzenia – jest ich więcej niż 3, które wcześniej analizowaliśmy

```
➜  ~ sudo bettercap
bettercap v2.41.3 (built for linux amd64 with go1.25.1 X:nodwarf5) [type 'help' for a list of commands]

10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » [12:00:35] [sys.log] [war] executable netstat not found in $PATH
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » [12:00:35] [sys.log] [war] Could not detect gateway.
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » ble.recon on
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 4B:2C:40:D4:51:64 (Apple, Inc.) -74 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 0A:26:70:44:C6:B4 (Microsoft) -51 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 62:8A:96:89:C1:52 (Apple, Inc.) -64 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 13:E2:49:55:82:F8 (Microsoft) -61 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 5C:E2:1C:F3:74:28 (Apple, Inc.) -54 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as E4:27:D2:70:7C:AB (Apple, Inc.) -66 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 73:77:9B:CA:D3:B9 (Apple, Inc.) -63 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 1C:76:49:46:52:96 (Microsoft) -71 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 20:AF:1B:0B:07:CE (SteelSeries ApS) -54 dB
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 4C:F1:59:4A:3C:91 (Apple, Inc.) -71 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 6D:6E:B7:C4:BC:3A (Sony Corporation) -45 d
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 63:A3:13:3A:12:E9 (Apple, Inc.) -72 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 64:80:66:A0:57:03 (Apple, Inc.) -68 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 62:E8:E7:27:D8:A1 (Apple, Inc.) -64 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 3D:59:0C:D7:9C:CD (Microsoft) -69 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as CD:CF:E5:CA:1A:58 (Apple, Inc.) -83 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 03:90:7C:69:62:B2 (Microsoft) -68 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as C7:BF:E4:0B:C2:A4 (Apple, Inc.) -76 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 7C:2D:3D:03:33:C3 (Apple, Inc.) -65 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 62:03:8D:B6:C3:55 (Apple, Inc.) -70 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 65:4B:AC:25:A2:88 (Apple, Inc.) -79 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 79:84:AF:88:84:01 (Apple, Inc.) -63 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 52:46:9A:81:40:56 (Apple, Inc.) -75 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as 57:3B:3E:6A:2E:34 (Apple, Inc.) -79 dBm.
BLE  » [12:00:45] [ble.device.new] new BLE device detected as D9:E1:25:17:00:C3 (Apple, Inc.) -64 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as EB:74:EB:6F:74:19 (Apple, Inc.) -70 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as 16:FF:58:34:C3:7E -73 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as E2:7D:61:B2:7B:24 (Apple, Inc.) -56 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as 41:43:28:AE:A5:BF (Apple, Inc.) -55 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as DD:68:D1:BC:B2:0F (Apple, Inc.) -64 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as C4:F7:FC:19:F9:A0 (Apple, Inc.) -80 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as EA:73:54:CF:08:6B (Apple, Inc.) -75 dBm.
BLE  » [12:00:46] [ble.device.new] new BLE device detected as F1:F0:FB:0E:A1:BA (Apple, Inc.) -69 dBm.
```

Wynik 8: bettercap uruchomiony w sali laboratoryjnej

```
ble.recon on -> ble.recon off -> ble.show
```

Po włączeniu skanowania `ble.recon` on i odczekaniu kilku minut, można zobaczyć wyniki skanu. Podstawowe informacje o urządzeniach są wyświetlone w wygodny sposób, posortowane według jakości sygnału wyrażonej w dBm

RSSI ▲	MAC	Name	Vendor	Flags	Connect	Seen
-50 dBm	50:91:c6:f7:79:87		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✗	12:12:25
-51 dBm	59:1e:23:48:3f:3f		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-51 dBm	e2:7d:61:b2:7b:24		Apple, Inc.		✗	12:12:21
-54 dBm	79:99:40:78:d1:ae		Sony Corporation		✓	12:12:25
-55 dBm	d9:e1:25:17:00:c3		Apple, Inc.		✗	12:12:23
-56 dBm	0a:ad:40:95:c9:74		Microsoft		✗	12:12:25
-59 dBm	1e:e0:e5:36:1f:b9		Microsoft		✗	12:12:25
-62 dBm	4b:2c:40:d4:51:64		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-64 dBm	1a:ea:93:ac:bc:07		Microsoft		✗	12:12:25
-65 dBm	41:eb:01:a9:9a:0f	LE_WH-1000XM5	Sony Corporation		✓	12:11:59
-66 dBm	3f:5f:8e:82:ad:97		Microsoft		✗	12:12:25
-67 dBm	79:de:2b:3f:8c:61		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:10
-67 dBm	c2:cd:6e:f9:14:6b		Apple, Inc.		✗	12:12:25
-67 dBm	fe:4b:a7:94:b6:33		Apple, Inc.		✗	12:12:25
-68 dBm	20:af:1b:0b:07:ce	SteelSeries Arctis Nova 5X	SteelSeries ApS		✓	12:12:25
-68 dBm	4e:1b:05:96:95:92		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-68 dBm	5a:96:ce:b6:13:c1		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-68 dBm	dd:68:d1:bc:b2:0f		Apple, Inc.		✗	12:12:17
-68 dBm	f6:73:e3:3b:7b:42		Apple, Inc.		✗	12:12:23
-69 dBm	db:31:dd:06:79:a8		Apple, Inc.		✗	12:12:25
-69 dBm	e2:e3:35:8a:8c:f1		Apple, Inc.		✗	12:12:21
-70 dBm	76:02:c1:9b:d3:35		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-71 dBm	69:6e:a9:0f:d9:3d		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✗	12:12:25
-72 dBm	65:4b:ac:25:a2:88		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-72 dBm	f1:f0:fb:0e:a1:ba		Apple, Inc.		✗	12:12:24
-73 dBm	f1:07:42:f3:c2:0f		Apple, Inc.		✗	12:12:25
-74 dBm	48:82:46:a4:87:ff		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-74 dBm	72:08:e9:13:c2:65		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:23
-74 dBm	c2:ef:88:bb:91:33		Apple, Inc.		✗	12:12:24
-75 dBm	23:b3:b1:82:8f:6d				✗	12:12:25
-76 dBm	f9:ce:0b:5b:32:ce		Apple, Inc.		✗	12:12:24
-77 dBm	64:9f:28:98:df:dd		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:24
-77 dBm	74:3e:c1:3e:65:be		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:25
-77 dBm	cd:56:90:84:af:1e		Apple, Inc.		✗	12:12:22
-77 dBm	f6:38:d8:40:7b:4b		Apple, Inc.		✓	12:12:18
-79 dBm	19:d0:6d:15:f9:51		Microsoft		✗	12:12:25
-79 dBm	63:a3:13:3a:12:e9		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:11:55
-80 dBm	de:0a:7b:d9:84:34		Apple, Inc.		✗	12:12:20
-82 dBm	62:8a:96:89:c1:52		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✗	12:12:23
-83 dBm	74:63:89:60:ad:d4		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:24
-85 dBm	79:84:af:88:84:01		Apple, Inc.	LE + BR/EDR (controller), LE + BR/EDR (host)	✓	12:12:23
-89 dBm	c4:f7:fc:19:f9:a0		Apple, Inc.		✗	12:12:22
-92 dBm	08:89:72:3b:93:34				✗	12:12:14
-96 dBm	23:d8:3b:9c:30:c7		Microsoft		✗	12:12:21

Wynik 9: Analiza ruchu sieciowego narzędziem ble

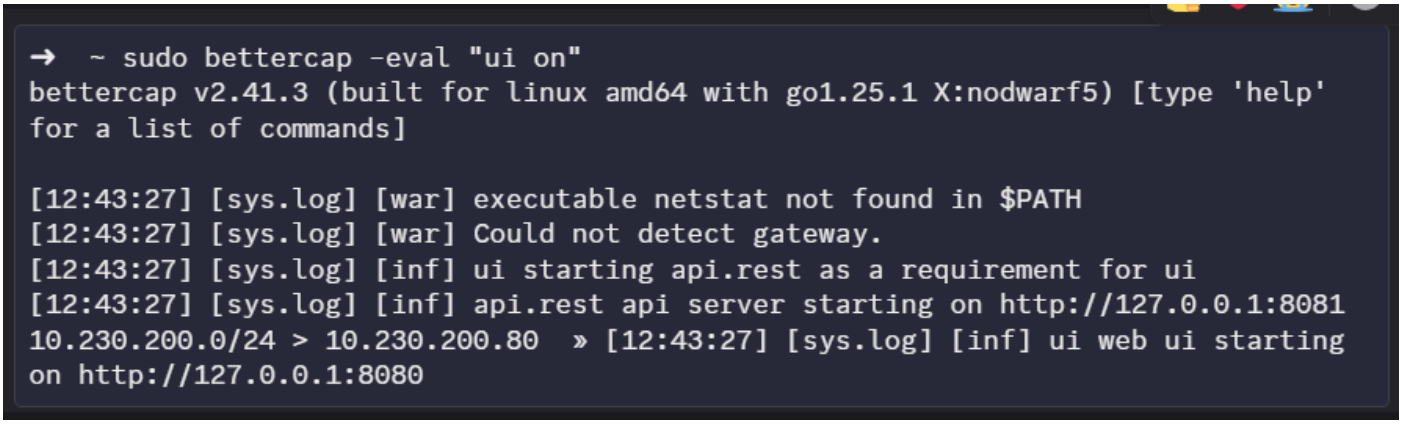
```
ble.enum <adres MAC>
```

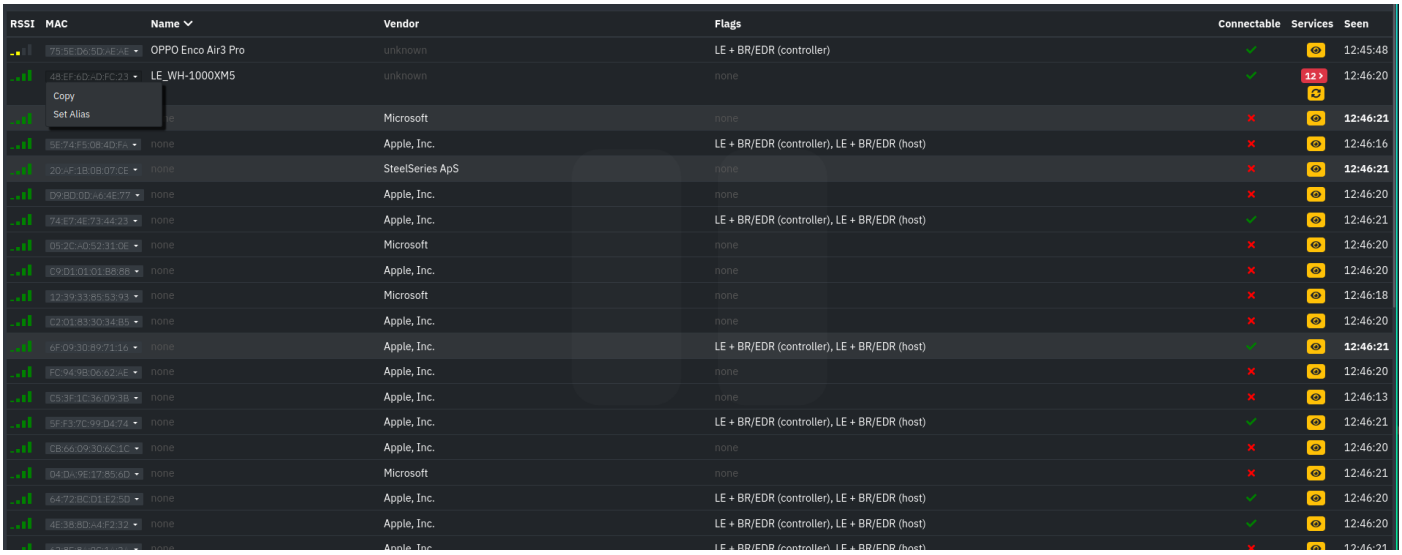
Próbowano wykonać enumerację dla słuchawek SteelSeries, lecz z nie udało się naprawić problemu z timeout.

```
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » ble.enum 20:af:1b:0b:07:ce
[12:41:07] [sys.log] [inf] ble.recon connecting to 20:af:1b:0b:07:ce ...
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » [12:41:12] [sys.log] [war] ble.recon
connection timeout
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » ble.enum 20:af:1b:0b:07:ce
[12:41:36] [sys.log] [inf] ble.recon connecting to 20:af:1b:0b:07:ce ...
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » [12:41:41] [sys.log] [war] ble.recon
connection timeout
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » ble.enum 20:af:1b:0b:07:ce
[12:41:44] [sys.log] [inf] ble.recon connecting to 20:af:1b:0b:07:ce ...
10.230.200.0/24 > 10.230.200.80  » [12:41:49] [sys.log] [war] ble.recon
connection timeout
```

Wynik 10: Nieudana analaiza słuchawek przy pomocy narzędzia ble

`sudo bettercap -eval “ui on”` – skan urządzeń BLE, porównanie z ble.enum



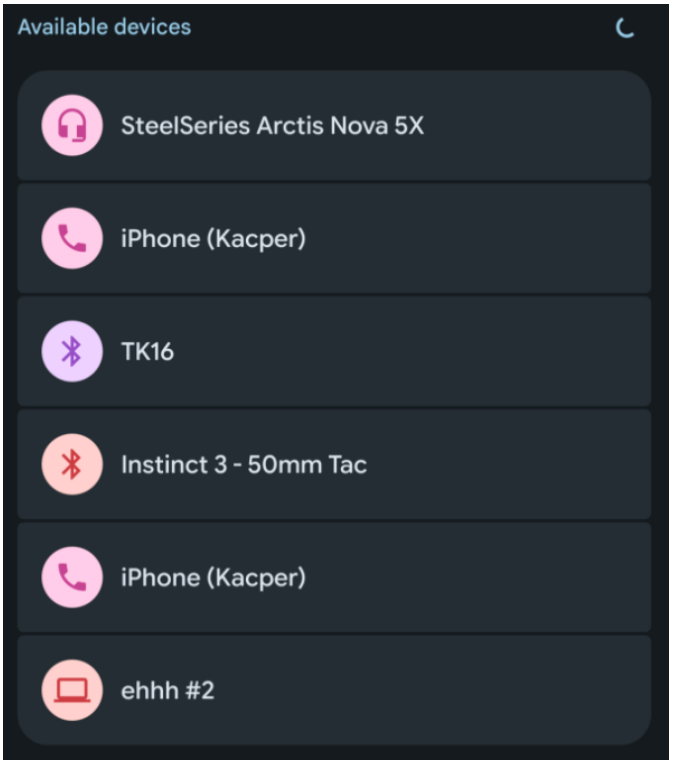


Wynik 11: Analiza przy pomocy bettercap z UI

Spoofing Bluetooth Devices

Jako cel obraliśmy słuchawki telefon iPhone (Kacper). Ponownie zostało użyte narzędzie `btscanner` żeby zdobyć informacje. Po wykonaniu poleceń, Kali Linux podszywający się pod telefon Kacpra pojawił się w możliwych połączeniach Bluetooth.

Laptop 1: Zmiana aliasu na laptopie i jego klasy

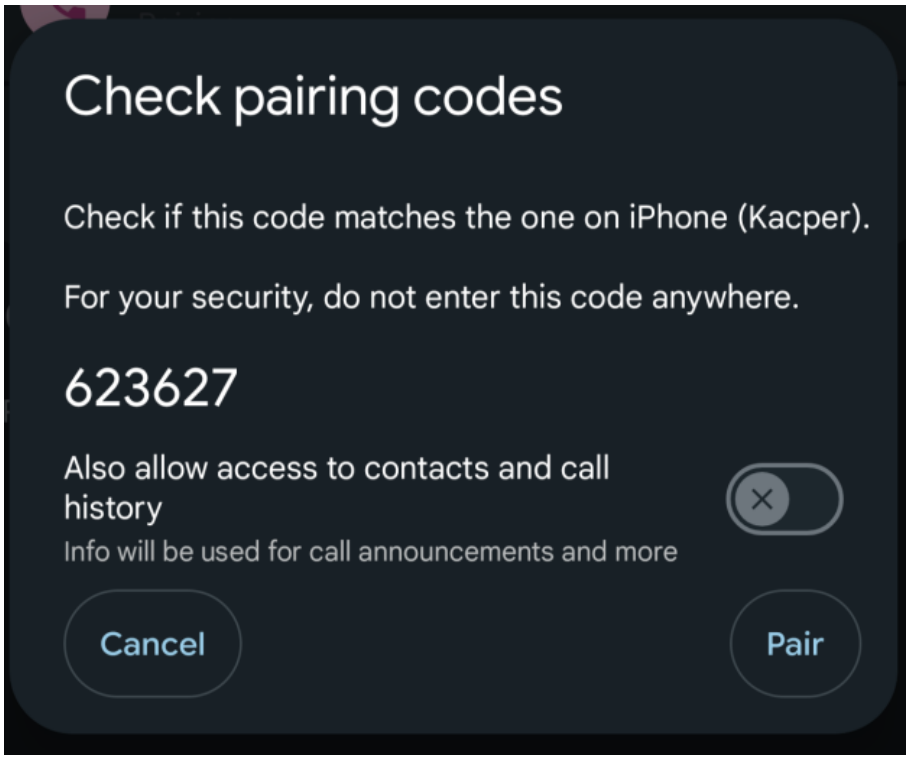


Telefon 1: Kali Linux podszywający się pod telefon

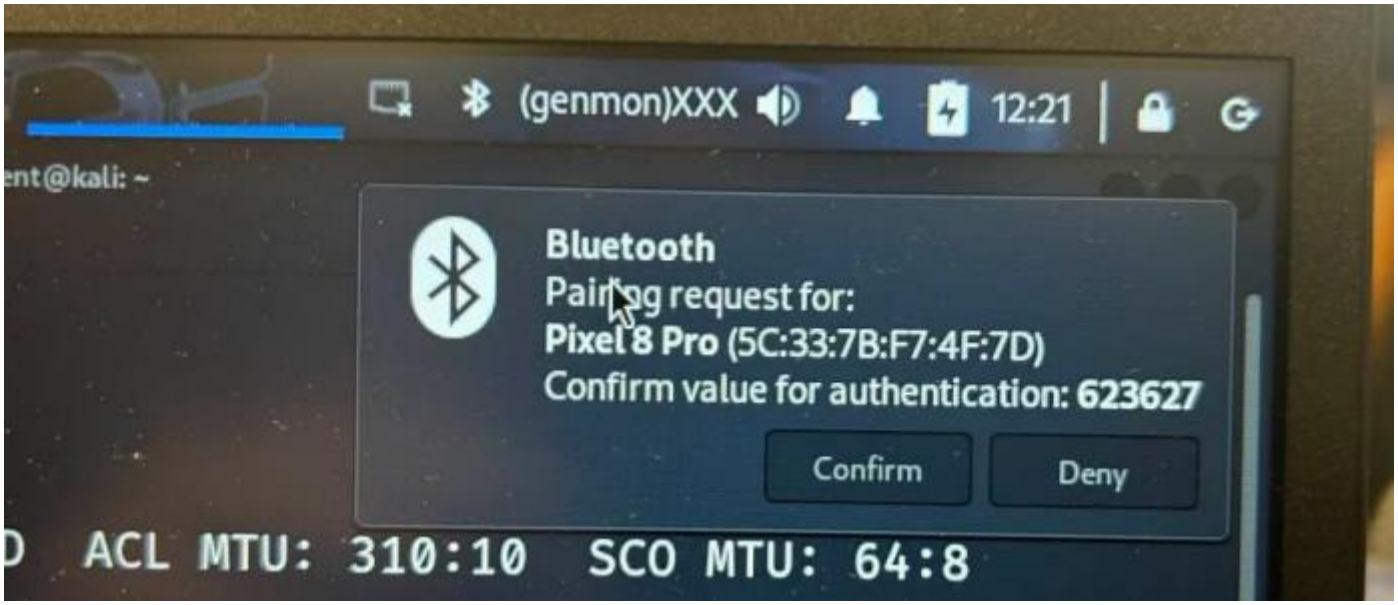
Skan pokazuje, że rzeczywiście są dwa teoretycznie takie same urządzenia, ale o innym adresie MAC.

Time	Address	Clk off	Class	Name
2025/10/17 12:07:29	00:01:95:7D:ED:BD	0x6354	0x7c010c	ehhh #2
2025/10/17 12:08:36	08:C8:C2:73:E1:0D	0x585b	0x6c010c	iPhone (Kacper)
2025/10/17 12:08:48	5C:33:7B:F7:4F:7D	0x4029	0x5a420c	Pixel 8 Pro
2025/10/17 12:08:48	28:C1:A0:3D:06:72	0x7ad0	0x7a020c	iPhone (Kacper)
2025/10/17 12:08:48	20:AF:1B:0B:07:CE	0x2379	0x240418	SteelSeries Arctis Nova 5X

Po zmianie adresu MAC na Kali Linuxie, widać było tylko jedno urządzenie – iPhone (Kacper), do którego podłączono się telefonem Pixel.



Telefon 2: Połączenie z podstawionym urządzeniem

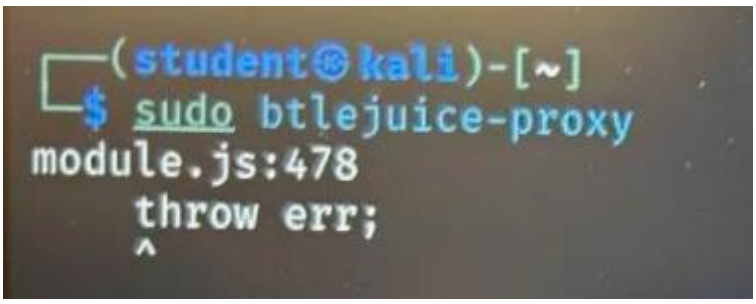


Laptop 2: Widok ze strony podstawionego urządzenia

Atak Man-in-the-Middle

Server proxy został uruchomiony na pierwszym Kali Linuxie po próbach naprawy – niestety program ostatni raz był aktualizowany około 7 lat temu.

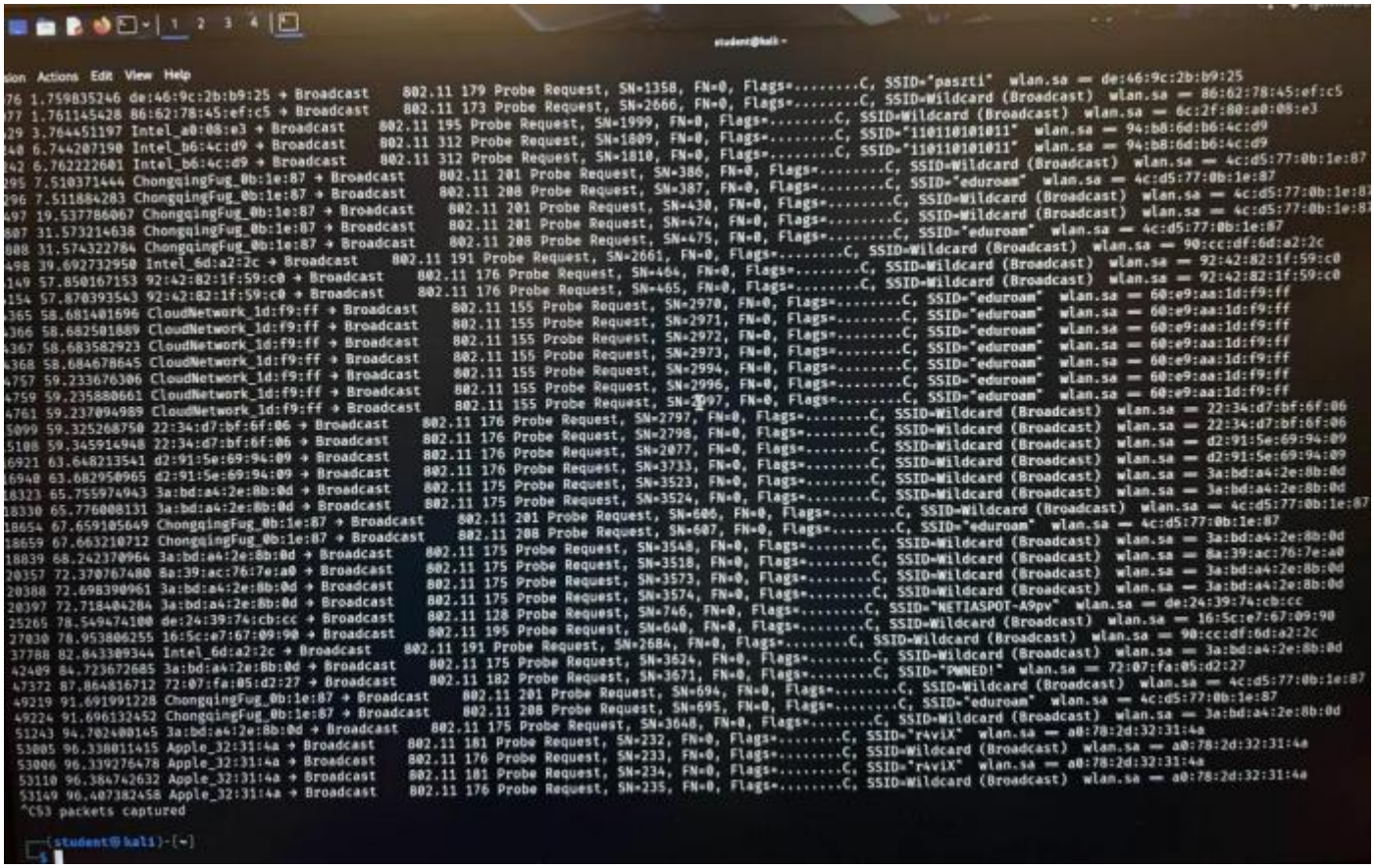
Drugi Kali Linux połączył się z proxy, o czym został powiadomiony serwer. Na localhost:8080 próbowano wybrać cel, ale wtedy otrzymaliśmy nieznany błąd na proxy.



Error 1: Błąd btlejuice-proxy zgłaszany w trakcie zajęć

Bluetooth Off-by-One

Po zatrzymaniu procesów wpływających na interfejs bezprzewodowy (905 wpa_supplicant), włączono tryb monitorowania na karcie bezprzewodowej `wlan0`. Po użyciu narzędzia `tshark` nie udało się jednak znaleźć adresów MAC spełniających warunek off-by-one. Następnie wyłączony został tryb monitorowania.



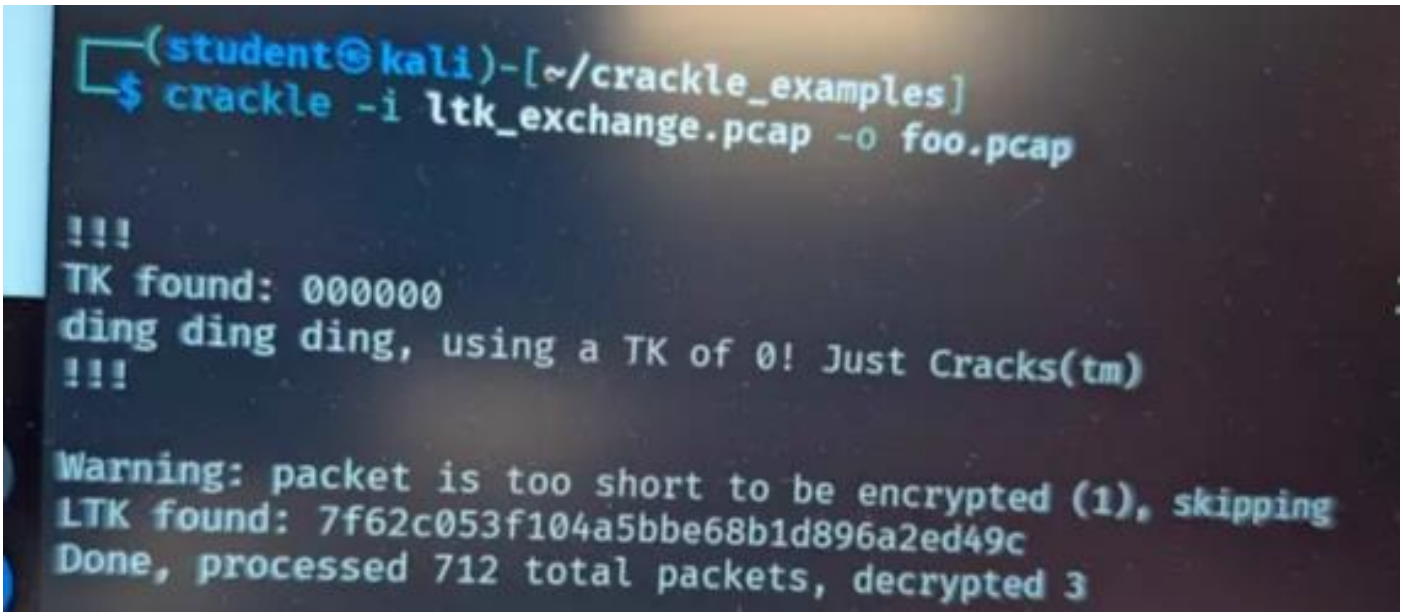
Error 2: Nienzalezione urządzenia spełniające warunek z zadania

`bluetooth_tools` nie zostało wgrane na nasze maszyny z Kali Linux, zatem nie byliśmy w stanie dokończyć zadania.

Bluetooth Low Energy TK Cracking

Po pobraniu plików z eportalu zostały wykonane komendy:

```
crackle -i ltk_...
```

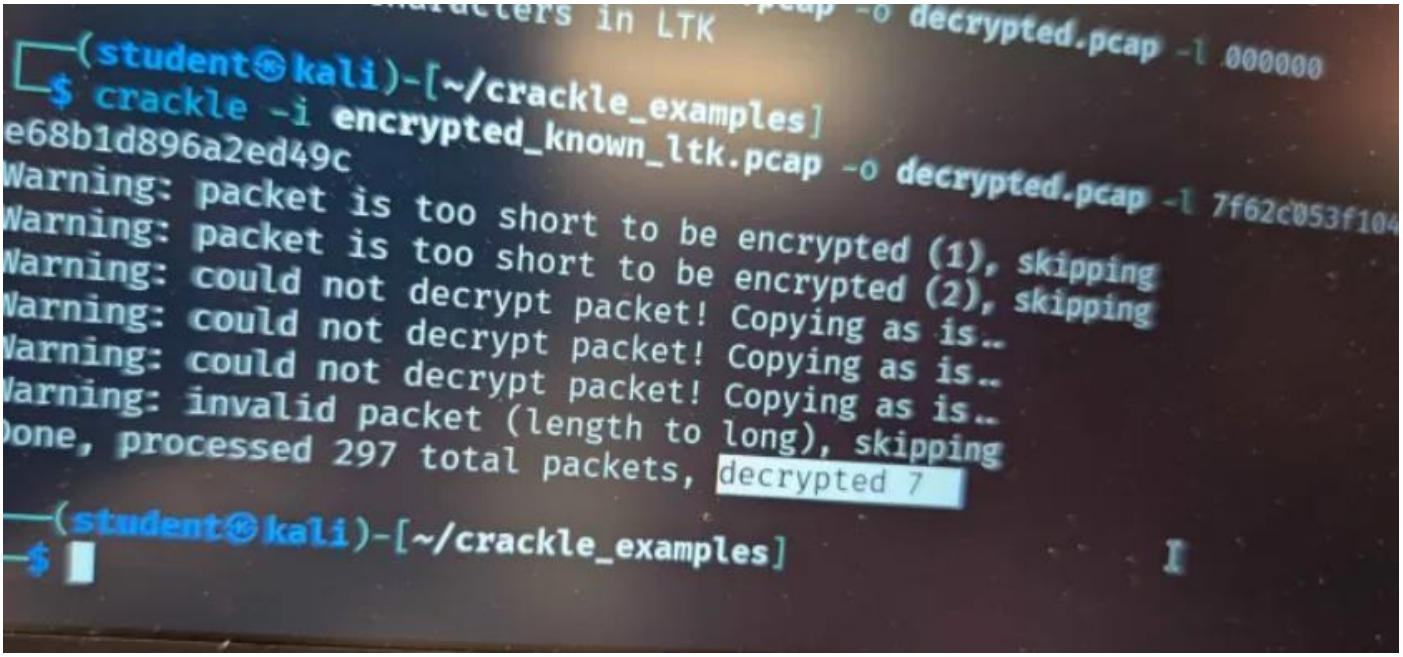


Wynik 12: odzysnanie klucza TK i LTK z transmisji sieciowej

TK found: 000000

LTK found: 7f62c…

```
crackle -i encrypted_known_ltk…
```



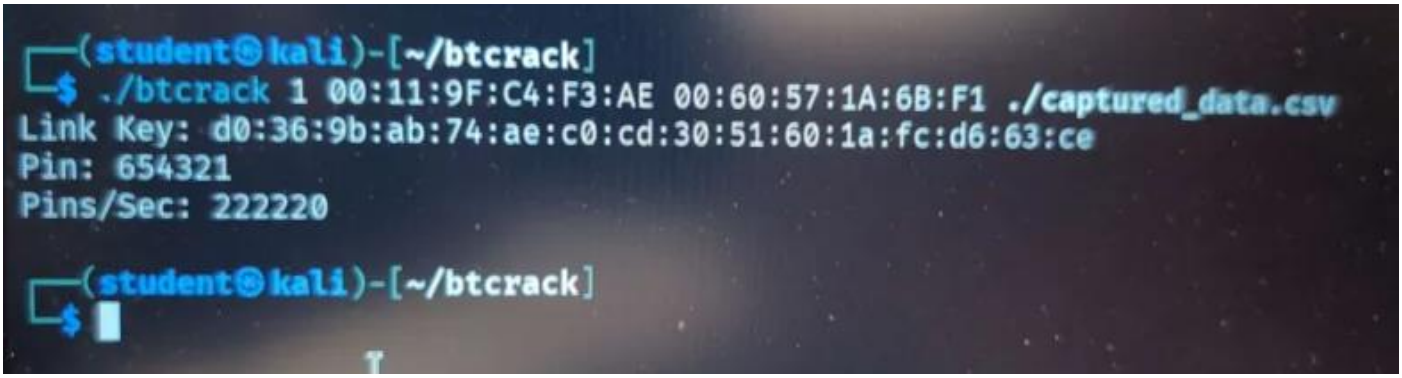
Wynik 13: Deszyfracja pakietów odnalezionym kluczem LTK

Decrypted: 7

Udało się odszyfrować ruch sieciowy zgodnie z instrukcją.

Classic PIN Attack

Narzędziem btcrack zostały zcrackowane przechwycone dane do złamania klucza LK i kodu PIN, w wyniku tego zostały wyeksportowane informacje:



Wynik 14: Udany brute force wykonany na przechwyconych danych

PIN: 654321

Link Key: d0:36:9b…

Wnioski, obserwacje i analiza

Narzędzia rekonensansowe, zarówno starsze, nowsze, mniej i bardziej interaktywne wszystkie działały dosyć podobnie i zwracały w większości te same informacje – głownie dlatego, że wszystkie korzystały z paczki BlueZ. Czasem jedynie można było napotkać dogodności, takie jak "tłumaczenie" nazw klas sprzętowych bądź graficzny interfejs. Z tego powodu zatem najlepiej jest używać po prostu narzędzia, które najlepiej pasuje do naszych potrzeb i jest dalej wspierane. Powinniśmy korzystać jednak z nowych rozwiązań – hcitool chociażby został zastąpiony przez bluetoothctl.

Pokazuje to jednak, że rekonesans Bluetooth jest prosty w wykonaniu i każdy z laptopem z systemem Linux może przeskanować swoje otoczenie w poszukiwaniu fizycznych adresów (BD_ADDR) pobliskich urządzeń, jak i ich klas i nazw. Jest to wystarczające do próby ataku.

Jednym z takich ataków był spoofing, który również okazał się prosty w wykonaniu ze zgromadzonymi wcześniej informacjami. Pokazuje to, że podszycie się pod inne urządzenie jest realnym zagrożeniem, zatem parowanie Bluetooth powinno być wykonywane szybko i w uzgodniony sposób, żeby nikt nie zdążył się podszyć, a także należy zwrócić uwagę na wyświetlający się kod podczas parowania. Specyfikacja Bluetooth nie posiada lepszych sposobów obrony – nie zawiera ona wbudowanych mechanizmów walidacji ogłaszanych nazw, adresów i klas.

Ostatnie dwa zadania pokazują podatność parowania BLE na łamianie TK i LTK koniecznych do szyfrowania ruchu pomiędzy sparowanymi urządzeniami oraz klasyczny Brute Force. Problematyczną częścią pierwszego ataku jest przechwycenie całego procesu parowania, a problemem drugiego z nich jest przestrzeń kluczy. Ataki Brute Force są realnym problemem wszędzie, gdzie używany jest PIN – jest to mało skomplikowany sposób

autentykacji. Starsze wersje Bluetooth używały połączenia PIN+MAC, żeby stworzyć Link Key, a jednocześnie nie był ustawiany limit nieudanych parowań. Z tego powodu należy przynajmniej nie ustawiać PINu typu 0000 bądź 1234.

Podsumowując, powszechnie stosowany i przez wszystkich lubiany protokół Bluetooth jest bardzo podatny na podszycie i inne ataki. Większość ataków jest jednak zależna od fizycznej odległości atakującego od ofiary. Oznacza to, że możemy zwiększyć swoje bezpieczeństwo, jeśli parujemy urządzenia w domu, a publicznie jesteśmy już do nich podłączeni.