Vysoká škola polytechnická Jihlava

Aplikovaná informatika

**Demonstrační nástroj Man-in-the-middle útoků na Wi-Fi sítě**

Bakalářská práce

Autor práce: Jiří Karmasin

Vedoucí práce: Mgr. Antonín Přibyl

Jihlava 2023

**Vysoká škola polytechnická Jihlava**

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Autor práce: **Jiří Karmasin**

Studijní program: Aplikovaná informatika

Obor: Aplikovaná informatika

Název práce: **Demonstrační nástroj Man-in-the-middle útoků na Wi-Fi sítě**

Cíl práce: Cílem práce je navrhnout a implementovat demonstrační nástroj k popisu a vysvětlení principu Man-in-the-middle (MITM) útoků na bezdrátové sítě. Tento nástroj poslouží k názorným ukázkám během školení kybernetické bezpečnosti především pro příslušníky Armády České republiky, proto musí být uživatelské rozhraní dostatečně intuitivní a přehledné. Součástí nástroje bude i popis relevantních protiopatření, které zvyšují imunitu proti MITM útokům. Nástroj bude implementován na platformě KALI Linux. Rovněž budou vytvořeny návodné a dokumentační nástroje (poster, brožura) pro cílové publikum pro zvýšení účinku školení s využitím tohoto nástroje.

Abstrakt

TODO

Klíčová slova

První klíčové slovo; druhé klíčové slovo; třetí klíčové slovo

Abstract

Vlastní text.

Keywords

První klíčové slovo; druhé klíčové slovo; třetí klíčové slovo

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „**AZ**“).

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje **AZ**, zejména § 60 (školní dílo).

Podle § 47b zákona o vysokých školách souhlasím se zveřejněním své práce podle směrnice prorektora pro studium č. 2/2020, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom/a toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne Klikněte nebo klepněte sem a zadejte datum.

…………………………………….

Podpis studenta

Obsah

[Seznam obrázků 7](#_Toc153705103)

[Seznam tabulek 8](#_Toc153705104)

[Seznam zkratek 9](#_Toc153705105)

[Úvod 10](#_Toc153705106)

[1 Man-in-the-middle útok 11](#_Toc153705107)

[2 Analýza síťových protokolů 13](#_Toc153705108)

[2.1 OSI model 13](#_Toc153705109)

[2.2 Inicializace připojení k Wi-Fi 14](#_Toc153705110)

[2.3 Proces autentizace 14](#_Toc153705111)

[2.4 ARP 16](#_Toc153705112)

[2.5 SSL 16](#_Toc153705113)

[3 Analýza vektorů útoku 17](#_Toc153705114)

[3.1 Připojení se k cílové zabezpečené Wi-Fi 17](#_Toc153705115)

[3.2 Přesměrování datového toku oběti 18](#_Toc153705116)

[3.3 Analýza a modifikace datového toku 19](#_Toc153705117)

[3.4 Analýza existujících nástrojů 20](#_Toc153705118)

[4 Návrh implementace 21](#_Toc153705119)

[4.1 Zdůvodnění použitého jazyka implementace 21](#_Toc153705120)

[4.2 Návrh funkcionalit konzolového back-endu 21](#_Toc153705121)

[4.3 Návrh GUI 21](#_Toc153705122)

[5 Implementace 22](#_Toc153705123)

[5.1 Implementace konzolového back-endu 22](#_Toc153705124)

[5.2 Implementace GUI 22](#_Toc153705125)

[6 Testování 23](#_Toc153705126)

[6.1 Testy funkčnosti 23](#_Toc153705127)

[6.2 Testy výkonosti 23](#_Toc153705128)

[Závěr 24](#_Toc153705129)

[Seznam použité literatury 25](#_Toc153705130)

[Přílohy 27](#_Toc153705131)

# Seznam obrázků

[Obrázek 1: Počáteční stav 11](#_Toc153721035)

[Obrázek 2: Po úspěšném MITM útoku 12](#_Toc153721036)

[Obrázek 3: ISO/OSI referenční model 13](#_Toc153721037)

[Obrázek 4 - bettercap 20](#_Toc153721038)

[Obrázek 5 – Ettercap 20](#_Toc153721039)

# Seznam tabulek

# Seznam zkratek

AČR Armáda České republiky

NATO North Atlantic Treaty Organization (Severoatlantická aliance)

NÚKIB Nádorní úřad pro kybernetickou a informační bezpečnost

MITM Man-in-the-middle

MAC Medium Access Control

IP Internet protocol

TCP Transmission Control Protocol

UDP User datagram protocol

EAPOL Extensible authentication protocol over LAN

LAN Local area network

SSID Service Set Identifier

SSL Secure Socket Layer

WEP Wired Equivalent Privacy

WPA Wi-Fi Protected Acess

WPS Wi-Fi Protected Setup

AES Advanced Encryption Standard

CCMP Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol

PSK Pre-Shared Key

MIC Message Integrity Code

# Úvod

Dnešní svět se stále více digitalizovaný. To s sebou nese mnoho pozitivních jevů jako je zvýšení produktivity téměř všech lidských činností, rychlost komunikace mezi lidmi a možnost mít všechny myslitelné informace doslova na dlani kdykoliv si člověk přeje. Mimoto však s sebou přináší i mnoho bezpečnostních hrozeb a zranitelností, které před příchodem digitálního věku neexistovaly.

Kybernetická bezpečnost se tedy stává jedním z nejnaléhavějších problémů, kterým čelíme v této době. Jedním z hlavních způsobů, kterým zvyšovat bezpečnost v kyberprostoru, je dle vyjádření NÚKIB školení a osvěta v oblasti kybernetické bezpečnosti a chování v digitálním prostoru. Školení jsou klíčová pro posilování odolnosti organizací vůči kybernetickým útokům.

Jako specialista kybernetické bezpečnosti sloužící v Armádě České republiky je mojí povinností takováto školení provádět. Z mých letitých zkušeností je zřejmé, že teoretický výklad na povinných školeních nemá zdaleka takový dopad jako praktická ukázka probírané látky. A právě proto se moje bakalářská práce zaměřuje na návrh a implementaci demonstračního nástroje, který má za cíl poskytnout názorné ukázky útoku man-in-the-middle (MITM) a tím pomoci školitelům a studentům lépe porozumět této kybernetické hrozbě.

MITM útoky patří mezi nebezpečné techniky, při kterých útočník vstupuje mezi komunikující strany a může odposlouchávat a modifikovat datový tok. Tato zranitelnost Wi-Fi sítí je známá a často zneužívaná, což pro příslušníky resortu Ministerstva obrany představuje hrozbu při využívání Wi-Fi připojení k internetu.

Cílovým publikem bude široká škála posluchačů při školení od neznalých uživatelů koncových zařízení (smartphonů) až po IT techniky a síťové administrátory. Každému posluchači by při tom měla demonstrační ukázka přinést nový poznatek. Výsledný nástroj by tedy měl být přehledný, a přitom měl mít možnost poskytovat hlubší a komplexnější informace o fázích útoku, pokud by to o měl posluchač zájem.

Práce bude dále diskutovat o klíčových aspektech man-in-the-middle útoků, jejich důsledcích, a především ochranných opatřeních proti nim. Kromě toho popíše proces vývoje demonstračního nástroje.

Cílem práce je tedy nejen vytvořit funkční nástroj pro demonstrace, ale také přispět k zvýšení povědomí o MITM útocích a zlepšení schopností obrany proti nim. Věřím, že vypracovaný projekt má potenciál přispět k bezpečnosti digitálního prostoru a k lepší přípravě jednotlivců na výzvy, které s sebou nese kybernetická éra.

# Man-in-the-middle útok

Kybernetický útok Man-in-the-middle, který by se dal přeložit také jako Muž-uprostřed, je typ útoku na bezdrátovou komunikaci dvou zařízení. Zneužívá nepopiratelného faktu, že na rozdíl od metalického ethernetového nebo optického síťového spojení, je bezdrátová komunikace zajišťována pomocí vysílání elektromagnetických vln, které se šíří všesměrově do okolí. U například ethernetového spojení pomocí UTP kabelu je jednoznačné, odkud a kam signál drátem prochází a elektromagnetické vyzařování samotného kabelu je zanedbatelné. U bezdrátových technologií, jako je Wi-Fi, je však nejednoznačné, ze kterého zařízení přijatý signál vychází.

Útočník může pomocí zachytávání komunikace ostatních zařízení, nedokonalostem v používaných protokolech a vysíláním specifických rámců zapříčinit, že se vměstná do komunikace mezi zařízení oběti a přípojný bod. Veškerou komunikaci potom může monitorovat anebo pozměnit, čímž kompromituje integritu a důvěrnost dat, což jsou dva ze tří pilířů kybernetické bezpečnosti.

Obecná posloupnost MITM útoku na bezdrátové sítě vypadá následovně.

1. *Počáteční stav*.

Klient je připojen k AP (Access Pointu), tedy přístupovému bodu k internetu pomocí hesla a šifrovaně komunikuje.

Obsah obrázku skica, kresba, kreslené, klipart

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek : Počáteční stav

*(Zdroj: vlastní)*

1. *Fáze útoku – Rekognoskace, deautentifikace, lámání hesla*.

Útočník pomocí svého Wi-Fi adaptéru zachytává v okolí se šířící rámce a z nich extrahuje potřebné informace o AP a zařízení oběti. Jakmile má potřebné znalosti, začne vysílat deautentifikační rámce a zároveň zachytává pokus o opětovné připojení k síti odpojené oběti. Po jejich zachycení má potřebné zdroje k pokoušení se o prolomení hesla ze zašifrovaných zpráv. Lámání helsa probíhá například offlinovým slovníkovým útokem a bude popsán v pozdějších kapitolách.

1. *Fáze útoku – útočník je v síti a provádí Man-in-the-middle*.

Se získaným heslem se útočník připojuje k síti a jako další zařízení a pomocí techniky APR poisoningu zapříčiňuje, že komunikace oběti nejde napřímo k AP, ale jde přes útočníkovo zařízení. Tím se útočník stává „mužem uprostřed“.

1. *Fáze útoku – výkonná fáze.*

Dosavadní činnost útočníka žádným způsobem negativně neovlivňuje komunikaci oběti. V této fázi útoku ale nastává samotné zneužití provedeného MITM například odposloucháváním komunikace (zachytávání DNS dotazů), přesměrování na falešný web (DNS spoofing), nebo čtení obsahu samotné komunikace po prolomení SSL zabezpečení například pomocí SSLsplitu.

Obsah obrázku skica, kresba, kreslené, klipart

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek : Po úspěšném MITM útoku

*(Zdroj: vlastní)*

1. *Fáze útoku – Exfiltrace.*

Úspěšný útok je takový, o kterém oběť ani neví, že se stal. V poslední fázi tedy útočník reverzně vrazí pozměněné ARP záznamy na původní hodnoty a odpojuje se od sítě.

V současnosti existuje řada nástrojů, která celý tento proces balí do lehce použitelného balíčku. Jsou jimi například *bettercap, Gerix s ettercap* s GUI nebo *wifiphisher* (Sharma, 2017, Baloch, 2015). Všechny jsou ale pro demonstraci útoků laikům špatně použitelné, protože jsou to buďto konzolové aplikace, které jsou pro diváky nesmírně odrazující, nebo neobsahují žádné popisné doplňující informace k útoku. Jejich používání by tedy kladlo velké požadavky na znalosti přednášejícího, který by musel být schopný okomentovat celý proces sám bez pomoci. Motivací k vytvoření mého nástroje je rovnou v GUI aplikaci přehledně zobrazovat všechny potřebné informace o probíhajících částech útoku tak, aby byl přednášející schopen provést demonstraci i s jen základními znalostmi.

Celý tento postup bude v následujících částech práce podrobněji popsán a ve výsledném nástroji bude možné jej krok po kroku demonstrovat s náležitým komentářem a vysvětlivkami.

# Analýza síťových protokolů

K úspěšnému provedení MITM útoku je nutné znát alespoň základní protokoly, které se využívají při bezdrátové Wi-Fi komunikaci. Právě nedokonalosti a funkcionalita těchto protokolů umožňují útok provést.

Bezdrátovou komunikaci, jejíž napadení bude práce demonstrovat je Wi-Fi. Wi-Fi připojení koncových zařízení k internetu využívá sadu standardizovaných protokolů IEEE 802.11 (IEEE Standard for Information technology, 2016), díky kterým je vůbec možné samotnou komunikaci navázat a provozovat. V první části práce popíšu a analyzuji základní sadu protokolů. Na tuto analýzu navážu v následující kapitole, kde se zaměřím na slabá místa jednotlivých aspektů komunikace. Dobře znát princip těchto protokolů je tedy zásadní pro pozdější zneužití jejich zranitelností.

## OSI model

Útok MITM probíhá na 2. spojové (neboli linkové) vrstvě referenčního ISO/OSI modelu. Pracuje tedy s tzv. rámci. Po úspěšném přesměrování rámců na zařízení útočníka pak může probíhat následné využití MITM na vyšších vrstvách. Při SSLsplitu je to šifrování, které se řadí do 5. relační vrstvy (Wu, 2020). Při práci s DNS dotazy se pak pracuje na nejvyšší, aplikační vrstvě (Rymond, 2022).

Obsah obrázku text, snímek obrazovky, Písmo

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek : ISO/OSI referenční model

*(Zdroj: wikipedia.org)*

## Inicializace připojení k Wi-Fi

Samotné připojení bezdrátového zařízení k Wi-Fi probíhá v několika krocích s využitím různých rámců (frames). Zde uvádím výčet těch nejdůležitějších:

* Beacon frame – tento rámec je v pravidelných intervalech vysílán AP, pokud je Wi-Fi síť nastavená jako viditelná. Obsahuje mimo jiné SSID, tedy název sítě, a informace o zabezpečení. Účelem je oznamovat do okolí dostupnost sítě.
* Probe request – rámec vysílají koncová zařízení, když aktivně hledají požadovanou síť, která není nastavená jako veřejná. Obsahuje SSID hledané sítě.
* Probe response – odpověď AP na probe request s informacemi jako v beacon framu.
* Authentication request frame – rámec zasílající klient k přístupovému bodu, v němž ho žádá o ověření. Toto ověření může být buď otevřené (pak není spojení šifrování), nebo pomocí hesla (shared key authentication). Toto spojení je bezpečnější.
* Authentication response frame – odpověď AP směrem ke koncovému zařízení. Spojení buďto potvrzuje, nebo zamítá při otevřeném spojení. U spojení s ověřovacím klíčem si vyžaduje heslem zašifrovaný řetězec (challenge text). Při jeho úspěšném dešifrování přístupovým bodem, je klientské zařízení ověřeno a připojeno.
* Association request/response frame – klíčový prvek v procesu připojování. Po úspěšném ověření v předcházejícím kroku dochází k samotnému připojení. V association response rámci je klientovi zaslána jeho nově přiřazená IP adresa.

## Proces autentizace

Samotná autentizace z předcházející části pak může probíhat několika způsoby. Ty jsou časem přidávány s tím, jak předešlé ztrácejí na bezpečnosti kvůli jejich nedokonalostem a prolomení.

### WEP (Wired Equivalent Privacy)

WEP je původní zabezpečovací protokol pro bezdrátové sítě Wi-Fi, zavedený v rámci standardu IEEE 802.11 v roce 1997. Cílem bylo poskytnout bezdrátovým sítím zabezpečení srovnatelné s tím, které je k dispozici v drátových metalických propojeních.

Autentizace pomocí WEP se zakládá na sdíleném klíči. Tento symetrický klíč je používán jak klientem, tak přístupovým bodem. Při autentizaci je poslán autentizační požadavek, který obsahuje zašifrované informace. Pokud přístupový bod dokáže tyto informace dešifrovat pomocí stejného klíče, klient je považován za ověřeného. WEP však používá slabý algoritmus šifrování (RC4), což vede k jeho zranitelnostem.

### WPA, WPA2, WPA3

WPA (Wi-Fi Protected Access) byl zaveden jako dočasné řešení k překonání slabostí WEP. Používá TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) pro šifrování. Autentizace u všech protokolů rodiny WPA spočívá v použití tzv. four-way handshake procesu. Tento proces ověřuje, že jak klient, tak přístupový bod mají správný klíč, a současně vytváří nové klíče pro ochranu datových rámců.

WPA2 je standardizovaný protokol, který nahradil WPA. Používá pokročilejší šifrování AES (Advanced Encryption Standard) a protokol CCMP (Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol).

WPA3 je nejnovější standard, který přináší zlepšení v oblasti zabezpečení a jednodušší připojení zařízení. Používá ještě silnější šifrovací metody a zlepšuje ochranu proti útokům, jako je brute-force pro opakované pokusy o přihlášení.

### Four-way handshake

Čtyřkrokový proces autentizace, známý jako "four-way handshake", je klíčovým prvkem zabezpečení Wi-Fi sítí, který se používá v protokolech WPA a WPA2. Jeho hlavním účelem je ověřit, že jak klient (zařízení, které se snaží připojit k síti), tak přístupový bod mají správný předsdílený klíč (Pre-Shared Key, PSK), a zároveň zajistit, že pro každou sezení bude vytvořen jedinečný šifrovací klíč.

Posloupnost zasílaných zpráv:

1. **Zpráva:** Přístupový bod (AP) pošle zprávu klientovi. Tato zpráva obsahuje ANonce (číslo použité jednou generované přístupovým bodem) a další informace potřebné k vytvoření klíče. Tento krok neobsahuje žádné šifrování.
2. **Zpráva:** Klient odpovídá zprávou, která obsahuje SNonce (číslo použité jednou generované klientem), informace potřebné k vytvoření klíče, a ověření, že klient zná předsdílený klíč (PSK). Tato zpráva je autentizována pomocí MIC (Message Integrity Code), který je vytvořen z předsdíleného klíče.
3. **Zpráva:** Přístupový bod nyní potvrdí, že i on zná PSK, odesláním další zprávy, která obsahuje ANonce. Tato zpráva také obsahuje šifrovací klíče použité k šifrování provozu a MIC. Klient nyní má všechny informace potřebné k vytvoření Temporal Key (TK), který bude používán pro šifrování a dešifrování dat.
4. **Zpráva:** Klient odpovídá potvrzením, že zpráva z třetího kroku byla přijata a že TK byl úspěšně vytvořen. Po této zprávě může začít šifrovaná komunikace mezi klientem a přístupovým bodem.

Celý proces zajišťuje, že obě strany (klient a přístupový bod) mají stejný šifrovací klíč a že tento klíč je jedinečný pro každou sezení. To pomáhá zabránit různým druhům útoků, včetně těch, které se snaží znovu použít staré šifrovací klíče.

### WPS (Wi-Fi Protected Setup)

WPS je navržen pro usnadnění procesu nastavení a připojení bezdrátových sítí. Jeho cílem je umožnit uživatelům připojit zařízení k síti snadno, často stisknutím tlačítka nebo zadáním PIN kódu.

WPS umožňuje uživatelům jednoduše stisknout tlačítko na routeru a na zařízení, které se připojuje, což spustí proces autentizace a automaticky nastaví síťové připojení.

WPS PIN je číslicový kód, který je potřeba zadat na zařízení pro jeho připojení k síti. Tento kód je obvykle umístěn na routeru nebo je možné ho generovat.

Je důležité poznamenat, že WPS může představovat bezpečnostní riziko, protože PIN metoda je náchylná k útokům brute-force. Proto odborníci doporučují WPS deaktivovat.

## ARP

ARP je zkratka „adress resolution protocol“. Jeho účelem je převod fyzické MAC adresy na síťovou IP adresu. Aby mohlo zařízení připojené do sítě komunikovat s okolními zařízeními v lokální síti, musí znát jejich i svoji MAC adresu. K tomu slouží dva hlavní rámce:

* ARP request – tímto rámcem se zařízení dotazuje na broadcastové adrese (FF:FF:FF:FF:FF:FF) na MAC adresu zařízení se známou IP adresou.
* ARP response – zařízení, které rozpoznalo svoji IP adresu v ARP requestu odpovídá na MAC adresu odesílatele rámec se svojí MAC adresou.

Tím je dokončen proces připojení a koncové zařízení je plně funkční ve Wi-Fi síti.

## SSL

SSL (Secure Sockets Layer) je zabezpečovací technologie, která se používá k vytvoření šifrovaného spojení mezi webovým serverem a prohlížečem. Toto spojení zajišťuje, že všechna data přenášená mezi webovým serverem a prohlížečem zůstanou soukromá a integrovaná. SSL je široce používán pro zabezpečení transakcí na internetu.

Princip fungování SSL lze stručně popsat následovně. Prvním krokem je navázání spojení mezi prohlížečem a serverem s SSL zabezpečením tím, že prohlížeč tento server požádá o jeho identitu. Server odpoví zasláním kopie svého SSL certifikátu. SSL certifikát obsahuje veřejný klíč potřebný k zašifrování dat odesílaných serveru. Prohlížeč kontroluje, zda je certifikát důvěryhodný. Pokud je certifikát platný, prohlížeč vygeneruje symetrický šifrovací klíč pro bezpečnou komunikaci se serverem. Tento šifrovací klíč je pak zašifrován pomocí veřejného klíče z certifikátu a odeslán zpět serveru. Server dešifruje tento klíč pomocí svého soukromého klíče. Jakmile má server dešifrovaný symetrický klíč, obě strany (server i prohlížeč) používají tento klíč pro šifrování a dešifrování dat, která si mezi sebou posílají. Tímto způsobem je zajištěno bezpečné spojení, které chrání integritu a důvěrnost přenášených dat. Po dokončení komunikace se spojení uzavře a klíče jsou zneplatněny.

Protokol SSL byl nahrazen modernější a bezpečnější technologií TLS (Transport Layer Security), která poskytuje lepší ochranu. Nicméně, termín "SSL" je stále běžně používán i když se ve skutečnosti často jedná o TLS.

# Analýza vektorů útoku

V této kapitole popíšu jednotlivé kroky potřebné k provedení MITM útoku a zaměřím se na zranitelnosti protokolů, které tato posloupnost zneužívá.

## Připojení se k cílové zabezpečené Wi-Fi

Prvním krokem k úspěšném provedení útoku MITM je připojení se k cílové zabezpečené Wi-Fi, ke které nezná útočník heslo. To provedu postupným odpojením připojeného klienta od sítě, zachycením přihlašovacích rámců při opětovném pokusu o připojení a nakonec dešifrováním hesla ze zachycených rámců.

### Deutaentifikace připojeného zařízení

Aireplay-ng je součástí Aircrack-ng, což je sada nástrojů pro testování zabezpečení Wi-Fi sítí. Právě tento nástroj použiji k odpojení klienta od přístupového bodu (AP) pomocí příkazu *aireplay-ng -deauthenticate*. Tento proces funguje na základě odesílání deautentifikačních rámců, což jsou speciální typy rámců definované ve standardu IEEE 802.11, určené k ukončení spojení mezi klientem a AP. Princip fungování deautentifikace lze popsat takto:

1. **Zachycení informací o síti:** Nejprve je potřeba zachytit informace o cílovém přístupovém bodu a připojených klientech. To zahrnuje MAC adresy AP a klientů.
2. **Odeslání deautentifikačních rámců:** Nástroj aireplay-ng poté odesílá deautentifikační rámců do sítě. Tyto rámce budu odesílat na adresu konkrétního klienta, což způsobí odpojení tohoto klienta od AP.
3. **Přerušení připojení:** Když je deautentifikační rámec přijat klientem standard IEEE 802.11 vyžaduje, aby příjemce rámce ukončil spojení. Toto je bezpečnostní prvek, který je v normálním provozu používán pro řádné ukončení spojení.
4. **Zneužití:** Právě tuto vlastnost zneužiji pro provedení MITM útoku a k pokusu o prolomení hesla sítě. Když jsou klienti odpojeni, často se automaticky pokusí znovu připojit, což mi umožní zachytit proces opětovného připojení (EAPOL rámce 4-way handshaku) a získat data potřebná pro prolomení hesla.

### Zachycení EAPOL rámců

EAPOL (Extensible Authentication Protocol over LAN) rámce jsou součástí protokolu EAP (Extensible Authentication Protocol), který se používá v různých autentizačních metodách. V kontextu Wi-Fi bezpečnosti jsou EAPOL rámce klíčové pro autentizační procesy, v mém případě konkrétně four-way handshake v WPA/WPA2, kde jsou používány k výměně šifrovacích klíčů a ověřovacích informací mezi klientem a přístupovým bodem.

Pro úspěšné zachycení a následnou analýzu zašifrovaného hesla v bezdrátové síti WPA/WPA2 je potřeba zachytit konkrétní sekvenci čtyř rámců "four-way handshake" mezi klientem a přístupovým bodem. Tyto rámce obsahují veškeré informace potřebné pro pokus o prolomení WPA/WPA2 hesla pomocí technik jako je brute-force nebo slovníkový útok. Tento proces může být časově náročný a složitý, zvláště pokud je heslo silné (dlouhé a obsahuje kombinaci písmen, čísel a speciálních znaků).

### Lámání WEP2 hesla

Pokud jde o prolomení zašifrovaných hesel existuje několik nástrojů, které jsou běžně používány v oblasti testování zabezpečení sítí. Těmi nejznámějšími v prostředí Kali Linuxu jsou *aircrack-ng*, *John the Ripper*, *hachcat* a například *Cowpatty*.

Pro svoji práci použiji nástroj *hashcat*, který je vysoce výkoný a podporuje mnoho různých algoritmů šifrování.

Při používání takovýchto nástrojů je důležité mít na paměti, že úspěch prolomení hesla závisí na mnoha faktorech, včetně složitosti hesla, výkonu hardwaru používaného k prolomení a dostupnosti správných dat (jako je například kompletní four-way handshake). Pro demonstrační nástroj je velice důležité, aby bylo heslo prolomeno v relativně krátkém čase; řádově několik sekund. Proto použiju lámání slovníkovým útokem. Tento slovník vytvořím například nástrojem *crunch* a správné heslo manuálně vložím na pozici, která mi zajistí prolomení hesla při demonstraci v požadovaném čase. Vytváření slovníku pro útok není součástí této práce.

Po úspěšném prolomení hesla je útočníkovi umožněno se k síti připojit jako další běžné zařízení. Tím je dokončen první krok útoku MITM.

## Přesměrování datového toku oběti

Druhou fází útoku je přesměrovat datový tok oběti k AP přes útočníkův adaptér tak jak je znázorněno na Obrázek 2: Po úspěšném MITM útoku. To provedu ARP poisoningem.

### ARP poisoning

ARP poisoning, také známý jako ARP spoofing nebo ARP cache poisoning, je fáze útoku, při kterém útočník posílá falešné ARP (Address Resolution Protocol) zprávy do síťového provozu. Tento útok je zaměřen na změnu ARP tabulky v síťovém zařízení (v mém případě v zařízení oběti a v AP), což vede k přesměrování síťového provozu skrze útočníka. ARP je protokol používaný v lokálních sítích pro nalezení MAC adresy, která odpovídá konkrétní IP adrese.

Princip fungování ARP poisoning je následující:

1. **Normální funkce ARP:** Ve standardní síťové komunikaci, když zařízení potřebuje zjistit MAC adresu jiného zařízení na stejné lokální síti, odešle *ARP request* (požadavek). Když příslušné zařízení přijme tento požadavek, odpoví s *ARP reply* (odpovědí), která obsahuje jeho MAC adresu.
2. **Zasílání falešných ARP odpovědí:** Během ARP poisoning útoku útočník zasílá falešné ARP odpovědi do sítě, i když nebyl vyslán žádný *ARP request*. Tyto falešné odpovědi mohou informovat ostatní zařízení v síti, že MAC adresa útočníka odpovídá IP adrese jiného legitimního zařízení v síti (například AP nebo telefonu).
3. **Modifikace ARP tabulky:** Když ostatní zařízení v síti přijmou tyto falešné ARP odpovědi, aktualizují své ARP tabulky. V důsledku toho bude veškerý provoz určený pro určité IP adresy přesměrován na útočníka.
4. **Přesměrování provozu:** Jakmile je ARP tabulka otrávena, útočník může zachytávat, upravovat nebo přerušovat data odesílaná mezi zařízeními. To umožňuje provádět další činnosti, jako je špehování DNS zpráv, SSLsplit a další.
5. **Transparentnost útoku:** ARP poisoning je často transparentní pro uživatele nebo zařízení v síti, což znamená, že mohou pokračovat v používání sítě bez toho, aniž by si byli vědomi, že jejich síťový provoz je manipulován nebo monitorován.

ARP poisoning je účinný v sítích, které používají ARP a nemají implementovány opatření proti ARP spoofingu, jako je například statické ARP tabulky nebo síťová bezpečnostní řešení, která detekují a blokují neobvyklý ARP provoz.

Tím je dokončena druhá část útoku, ve které se mi podařilo po připojení do sítě přesměrovat datové rámce na moji stanici, kde na ně aplikuji další část útoku.

## Analýza a modifikace datového toku

V poslední části ukázky budu demonstrovat, co všechno je možné dělat v okamžiku, kdy je útočník prostředníkem v datovém toku. Bude to především filtrace DNS dotazů, která mi umožní zjistit, na které stránky se oběť chtěla připojit a také SSLsplit, která umožní čtení samotného obsahu komunikace, jako například přihlašovací údaje.

### Filtrování DNS dotazů

DNS dotazy na překlad URL adresy na IP nejsou do této doby ve velkém šifrovány (Internet Society, 2023). Tím mohu jednoduše vyfiltrovat všechnu komunikaci na UDP port 53 a z paketů vyextrahovat požadované stránky k navštívení.

### SSLsplit

SSLsplit je nástroj používaný pro provedení poslední fáze MITM útoku. Jeho primárním účelem je zachytávat a manipulovat s HTTPS a jinými šifrovanými protokoly, jako jsou SMTPS, POP3S, IMAPS, a další. SSLsplit umožňuje útočníkovi sledovat a modifikovat síťový provoz, který je obvykle chráněn šifrováním. SSLsplit funguje následovně:

1. **Zachycení síťového provozu:** SSLsplit funguje tak, že se umístí mezi dvě komunikující strany (například mezi uživatelem a webovým serverem). Toho je obvykle dosaženo pomocí ARP poisoning nebo jiných technik pro změnu směrování síťového provozu skrze zařízení, na kterém běží SSLsplit.
2. **Rozložení šifrované komunikace:** Když projde šifrovaný provoz (například HTTPS) skrze SSLsplit, nástroj rozloží šifrované spojení. To znamená, že SSLsplit naváže dvě samostatná spojení: jedno s klientem a druhé se serverem.
3. **Předstírání identity:** SSLsplit se předstírá jako cílový server pro klienta a jako klient pro cílový server. To zahrnuje vytváření falešných SSL certifikátů v reálném čase, které jsou představovány klientovi, aby bylo možné šifrované spojení navázat.
4. **Dekódování a případná manipulace:** Po úspěšném navázání těchto spojení může SSLsplit dešifrovat a zaznamenávat přenášená data. Také je možné data modifikovat, než budou předána dál.
5. **Přeposlání dat:** SSLsplit pak předává data mezi klientem a serverem, aniž by byla narušena funkčnost komunikace, což umožňuje útočníkovi sledovat nebo modifikovat data, aniž by to bylo zřejmé pro obě komunikující strany.

## Analýza existujících nástrojů

Na systému Kali Linux existuje řada nástrojů, které se problematikou Man-in-the-middle zabývají. Buďto jsou ale konzolové, což je pro demonstrační a výukové účely krajně nevhodné, nebo se snaží o co největší efektivitu ve splnění jejich úkolu a zanedbávají demonstrační a vysvětlující aspekt uživatelského prostředí. Za všechny uvádím dva příklady.

* bettercap – tento konzolový tool dokáže provést kompletní MITM útok, ale kvůli chybějícímu uživatelskému prostředí je nevhodný pro školení z kybernetické bezpečnosti.

Obsah obrázku text, snímek obrazovky, software, Multimediální software

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek - bettercap

*(Zdroj: vlastní)*

* Ettercap – tento nástroj má GUI, ale stále by jeho použití při školení vyžadovalo značné znalosti školitele, protože neobsahuje žádné pomocné informační texty.



Obrázek – Ettercap

*(Zdroj: vlastní)*

# Návrh implementace

## Zdůvodnění použitého jazyka implementace

## Návrh funkcionalit konzolového back-endu

## Návrh GUI

# Implementace

## Implementace konzolového back-endu

### EvilTwin Wi-Fi

### ARPspoof

## Implementace GUI

# Testování

## Testy funkčnosti

## Testy výkonosti

# Závěr

# Seznam použité literatury

BALOCH, Rafay. Ethical Hacking and P/enetration Testing Guide. USA: CRC Press, 2015. ISBN: 78-1-4822-3162-5

FREIER, A, KARLTON, P. *The Secure Sockets Layer (SSL) Protocol Version 3.0*. 2011. https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6101

HAIDER, Zeeshan. *4-Way Handshake* [online]. 2019 [cit. 2023-12-16]. Dostupné z: <https://www.wifi-professionals.com/2019/01/4-way-handshake>

IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, in IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012), 14 Dec. 2016, doi: 10.1109/IEEESTD.2016.7786995.

INTERNETSOCIETY.ORG. *Encrypted DNS Facksheet* [online]. 2023 [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2023/fact-sheet-encrypted-dns/>

MARUŠIC, Marek. Automatizace MitM útoku pro dešifrování SSL/TLS. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Pluskal Jan.

RAYMOND, Serena. *What is the DNS Layer and How Do I Secure It?* [online]. 2022 [cit. 2023-11-22]. Dostupné z: <https://www.dnsfilter.com/blog/dns-layer-how-to-secure>

SHARMA, Himanshu. *Kali Linux – An Ethical Hacker’s Coockbook*. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2017. ISBN 978-1-78712-182-9

Wu, Wentz. *What OSI Layer does TLS Operate and Why?* 2020. <https://wentzwu.com/2020/08/21/what-osi-layer-does-tls-operate-and-why/>

# Přílohy