

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 5911

Demonstracija rada protokola DNSSEC u sustavu IMUNES

Dubravko Lukačević

Zagreb, lipanj 2019.

*Umjesto ove stranice umetnite izvornik Vašeg rada.
Da bi ste uklonili ovu stranicu obrišite naredbu \izvornik.*

Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Miljenku Mikucu i asistentu mag. ing. Denisu Salopeku na pruženoj pomoći i udijeljenim savjetima koji su mi bili jako korisni tokom izrade ovog završnog rada.

SADRŽAJ

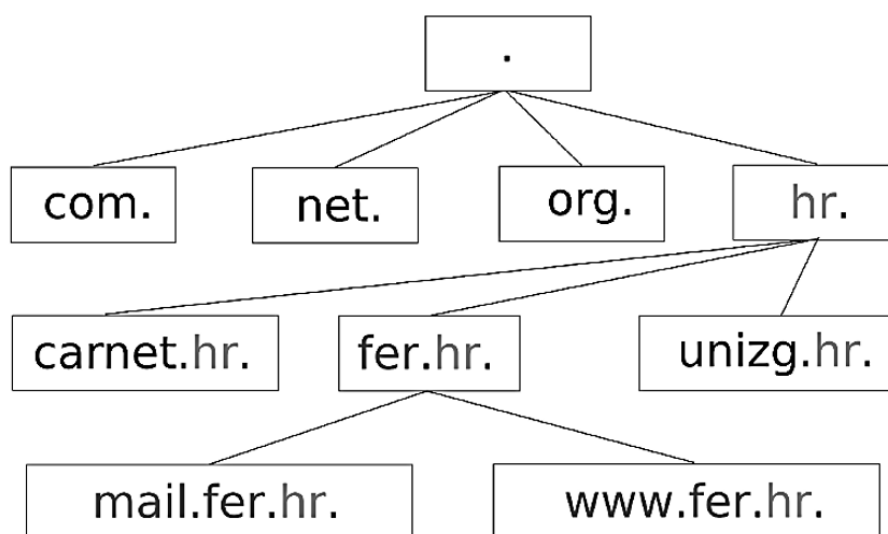
1. Uvod	1
2. Sigurnosni problemi DNS-a	3
2.1. Registracija sličnih domena	3
2.2. Lažiranje DNS odgovora	3
2.3. Trovanje DNS međuspremnik	4
3. Način rada DNSSEC-a	5
4. Implementacija DNSSEC-a u sustav IMUNES	9
5. Rezultati	15
6. Zaključak	18
Literatura	19

1. Uvod

Domenski sustav imena (engl. Domain Name System, kratica DNS) je sustav koji prevodi IP-adrese u simbolička imena, što nam omogućuje da lakše zapamtimo adresu neke stranice jer pamtimo smisleno simboličko ime umjesto numeričke IP-adrese. Zbog toga se za DNS često kaže da je "telefonski imenik" Interneta.

"DNS je hijerarhijski i decentralizirani sustav. Imena koja DNS prevodi u pravilu su sastavljena od više dijelova te, za razliku od IP-adresa, ti dijelovi imaju hijerarhijsko značenje. Primjerice, ime mail.fer.hr. sastoji se od tri dijela – mail, fer i hr. S desna na lijevo – hr označava Hrvatsku, fer označava Fakultet Elektrotehnike i Računarstva (FER) u Hrvatskoj, a mail označava poslužiteljsko računalo zaduženo za elektroničku poštu na FER-u." [3] Krajnji desni dio domenskog imena naziva se vršna domena ili TLD (eng. top-level domain), u ovom slučaju to je vršna domena hr. Sve domene u domenskom imenu koje su lijevo od TLD-a predstavljaju poddomene, pri čemu je najviše moguće 127 razina poddomena. Vrh hijerarhije DNS-a označava se točkom i naziva se korijenom DNS-a jer hijerarhija ima strukturu stabla. Primjer DNS hijerarhije prikazan je na Slici 1.1. "Za hrvatsku vršnu domenu .hr zadužen je poslužitelj dns.srce.hr kojim upravlja HR-DNS služba za CARNet." [2]

Problem nastaje kada gledamo sigurnost DNS-a, naime DNS je ostao nepromijenjen od ranih 1980-ih kada je osmišljen pa je normalno da sada postoje neke sigurnosne prijetnje. Jedan od glavnih problema je taj što DNS za slanje poruka koristi nepouzdanu uslugu UDP protokola, čije se poruke mogu lako lažirati. Upravo zbog toga nastalo je sigurnosno proširenje za DNS (engl. DNS Security Extension, kratica DNSSEC).



Slika 1.1: Primjer DNS hijerarhije, izvor [2]

DNSSEC je sigurnosna nadogradnja DNS protokola koja osigurava autentičnost i integritet DNS odgovora koristeći digitalni potpis koji je baziran na kriptografiji javnog ključa, o čemu će biti više govora kasnije u ovom radu. Razvoj DNSSEC-a započeo je 1993. godine, korijenska domena potpisana je 15.7.2010. godine, a u vrijeme pisanja ovog rada (prva polovica 2019. godine) još uvijek nisu potpisane sve domene.

2. Sigurnosni problemi DNS-a

Kao što je već spomenuto, DNS je relativno star protokol i nije imao nikakve sigurnosne nadogradnje otkako je osmišljen pa su se pojavili sigurnosni problemi i u ovom poglavlju ukratko su opisani neki od njih kako bi se stekao dojam koliko su ti problemi ozbiljni i što točno sprječava DNSSEC, odnosno zašto nam je potreban.

2.1. Registracija sličnih domena

Kao jedan od čestih problema DNS-a javlja se registracija sličnih domena u svrhu prijevara, a najčešća meta za kriminalce su sustavi koji imaju veze s novcem. Prijevara se odvija tako da kriminalci registriraju domenu sličnog imena (npr. paypal umjesto paypal), postavljaju jednak izgled stranice kao original i čekaju da nepažljivi korisnici ostave svoje podatke na njihovoj stranici.

Jedini način pravovremene zaštite jest da, kako bi zaštitile svoje korisnike, organizacije preventivno registriraju sve slične domene.

2.2. Lažiranje DNS odgovora

DNS promet nije zaštićen i zbog toga se javlja sljedeći sigurnosni problem, odnosno skup problema kojima je zajedničko da na kraju korisnik dobije lažnu informaciju u DNS odgovoru jer je DNS upit ili odgovor u nekom trenutku presretnut u izmijenjen. Nadalje zbog korištenja nesigurnog UDP transportnog protokola napadaču omogućuje da lažira otkud poruka dolazi, a kao posljedica toga ako napadač zna kako izgleda DNS odgovor, može ga lažirati i ukoliko lažni odgovor stigne prije pravog, žrtva će prihvatiti taj lažni odgovor.

2.3. Trovanje DNS međuspremnik

Ovaj napad se izvodi nakon napada opisanog u prethodnom potpoglavlju i predstavlja jako ozbiljnu sigurnosnu prijetnju DNS sustavu. Kada se napadač ubaci u komunikaciju tokom DNS prevođenja on može odgovarati na upite umjesto DNS poslužitelja kojem je upit zapravo upućen te se odgovori koje napadač pošalje spremaju u DNS međuspremnik. Zbog toga će svi sljedeći isti upiti od poslužitelja dobiti lažan odgovor koji je spremljen u međuspremniku. Očito je da spremanjem samo jednog lažnog odgovora u međuspremnik na DNS poslužitelju kojeg koristi velik broj klijenata može biti prevaren velik broj ljudi.

3. Način rada DNSSEC-a

DNS sustav sastoji se od tri glavna dijela, a to su:

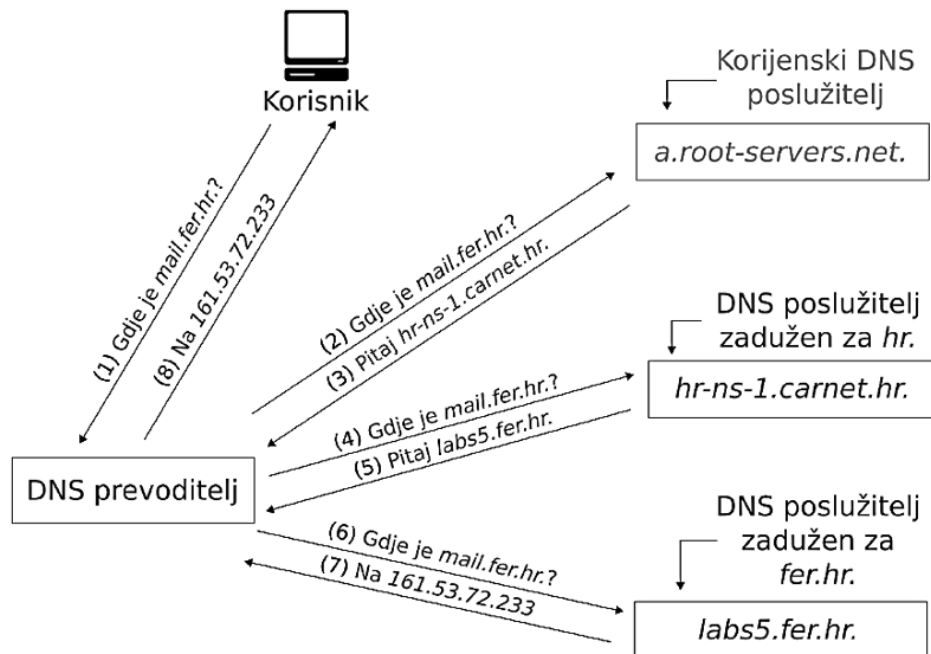
1. DNS klijent - nalazi se na klijentskom računalu, šalje DNS zahtjev
2. rekurzivni DNS poslužitelj - poslužitelj koji za zadani upit obavlja pretraživanje i vraća odgovor natrag klijentu
3. autoritativni DNS poslužitelj - poslužitelj koji odgovara na upite rekurzivnog poslužitelja tako što mu vrati konačan odgovor na upit ili referencu na neki drugi autoritativni DNS poslužitelj

Slika 3.1 ilustrira DNS prevođenje za slučaj kada klijent DNS prevoditelju pošalje upit za mail.fer.hr. Kada DNS poslužitelj dobije odgovor na traženi upit, taj odgovor se sprema u DNS međuspremnik kako bi drugim korisnicima koji pošalju isti upit mogao odgovoriti bez ponavljanja cijelog postupka prevođenja. Također zapis se nakon nekog vremena briše iz DNS međuspremnika kako ne bi došlo do zastarijevanja.

DNSSEC nije novi protokol, već samo uvodi sljedećih šest novih vrsta DNS zapisa:

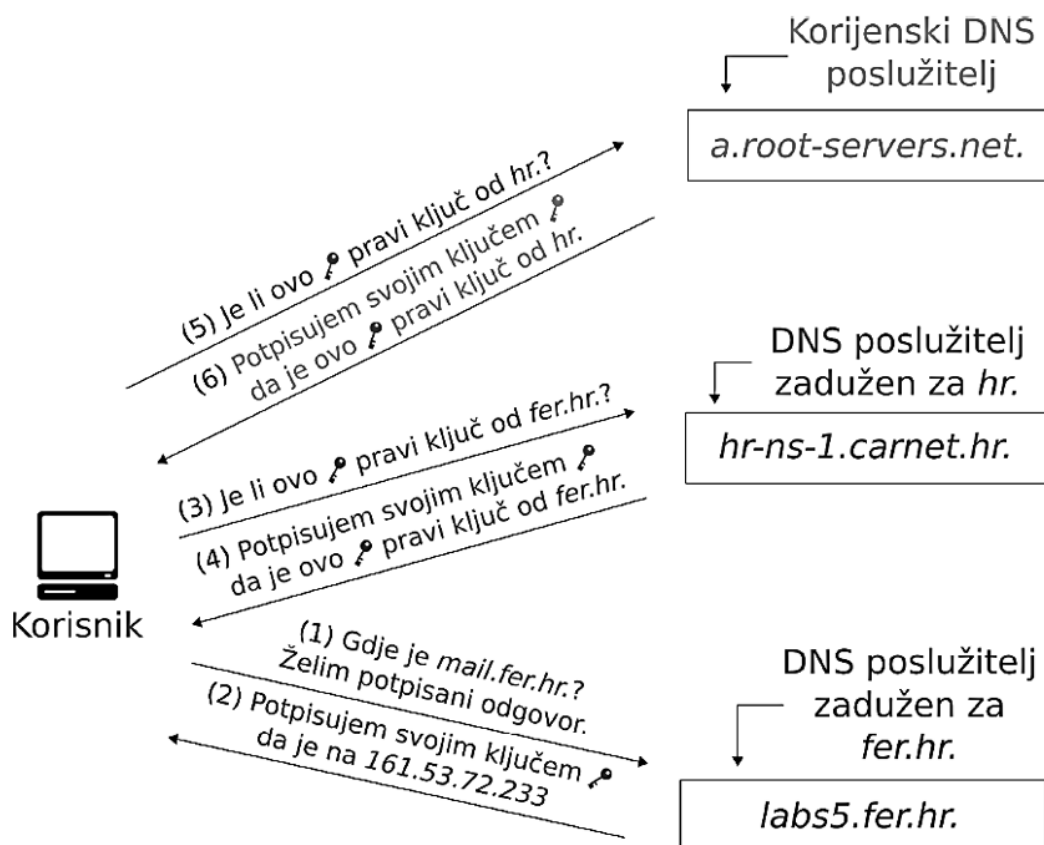
1. Resource Record Signature (RRSIG) - zapis koji sadrži digitalni potpis DNS odgovora koji koriste rekurzivni DNS poslužitelji, kada je DNSSEC uspostavljen svaki DNS odgovor dolazi s najmanje jednim RRSIG potpisom
2. DNS Public Key (DNSKEY) - zapis koji sadrži javni ključ kojim se provjerava digitalni potpis
3. Delegation Signer (DS) - zapis kojim nadređeni DNS poslužitelj podređenom poslužitelju povjerava kontrolu nad domenom niže razine, sadrži siguran sažetak javnog ključa podređenog DNS poslužitelja i ime domene koja se povjerava
4. Next Secured record (NSEC) - dokaz nepostojanja DNS zapisa
5. NSEC record version 3 (NSEC3) - poboljšani oblik NSEC zapisa

6. NSEC3 parameters (NSEC3PARAM) - zapis sadrži parametre koji su potrebni NSEC3 zapisu da bi radio ispravno



Slika 3.1: DNS prevođenje, izvor [1]

Na slici 3.2 možemo vidjeti kako izgleda provjera ispravnosti potpisa, odnosno DNSSEC validacija. Kao što se vidi na slici, proces provjere staje kod korijenskih DNS poslužitelja jer za njih ne postoji nadređeni DNS poslužitelj, stoga nije moguće provjeriti autentičnost njihovog ključa na ovaj način. Korisnik ima odgovornost da na siguran način pribavi ključ korijenskih poslužitelja (ne putem DNS-a) te tako osigura da se ovaj proces završi s ključem kojem korisnik vjeruje pa je onda i sigurno da je primljeni DNS odgovor ispravan. Zato kažemo da je ključ korijenskih DNS poslužitelja izvor ili sidro povjerenja DNSSEC-a, a takav lanac digitalnih potpisa koji počinje ključem korijenskih DNS poslužitelja i završava potpisanim DNS odgovorom naziva se lancem povjerenja jer kada se pribavi ključ korijenskih poslužitelja ispravnost svih drugih potpisa provjerava se lančano.



Slika 3.2: DNSSEC provjera ispravnosti potpisa, izvor [1]

Kako bi se ostvarila potpuna sigurnost, provjera potpisa mora se odvijati na računalu krajnjeg korisnika jer jedino tako se sa sigurnošću može tvrditi da DNS odgovor nije bio lažiran niti u jednom dijelu procesa.

Kada završi provjera DNS odgovora zaštićenog DNSSEC-om rezultat mogu biti četiri stanja za DNS odgovor, koji su navedeni i ukratko opisani u nastavku.

1. Sigurno - ako postoji ispravan lanac potpisa skroz do ključa kojemu korisnik vjeruje te možemo reći da je DNS odgovor zaštićen
2. Nesigurno - ispravan lanac potpisa postoji samo do nekog trenutka u kojem je potvrđeno da tražena domena nije zaštićena te se potvrđuje da je stanje nesigurno, a s time i da postoji mogućnost napada, ali nije moguće odrediti događa li se stvarno napad zbog nezaštićene domene niže razine
3. Lažno - lanac potpisa nije ispravan jer neki od potpisa nije ispravan ili DNS odgovor nije potpisan, a lanac povjerenja potvrđuje da bi trebao biti potpisan iz čega se zaključuje da se događa napad ili da nešto nije ispravno konfigurirano

4. Neodređeno - ako ne postoji ključ kojemu korisnik vjeruje pa nema kako potvrditi ispravnost lanca potpisa, događa se kada korisnik nije sigurno preuzeo ključ korijenskih DNS poslužitelja pa zato ne može donijeti nikakav zaključak

Uočimo razliku između nesigurnog i lažnog stanja. Kada je u pitanju lažno stanje, sigurno možemo reći da se događa napad ili da postoji pogreška u konfiguraciji DNSSEC-a, dok nesigurno stanje označava situaciju u kojoj DNSSEC nije konfiguriran na domeni pa DNS funkcionira normalno kao i inače.

Također postoji bitna razlika između sigurnog i neodređenog stanja, naime kod neodređenog stanja moguće je imati u potpunosti ispravan lanac kao i kod sigurnog stanja, ali razlika je u tome vjeruje li korisnik ključu korijenskih poslužitelja, ako ne vjeruje onda ne može vjerovati ni DNS odgovoru jer "bez povjerenja u ključ korijenskih poslužitelja, nema ni povjerenja u DNSSEC." [1]

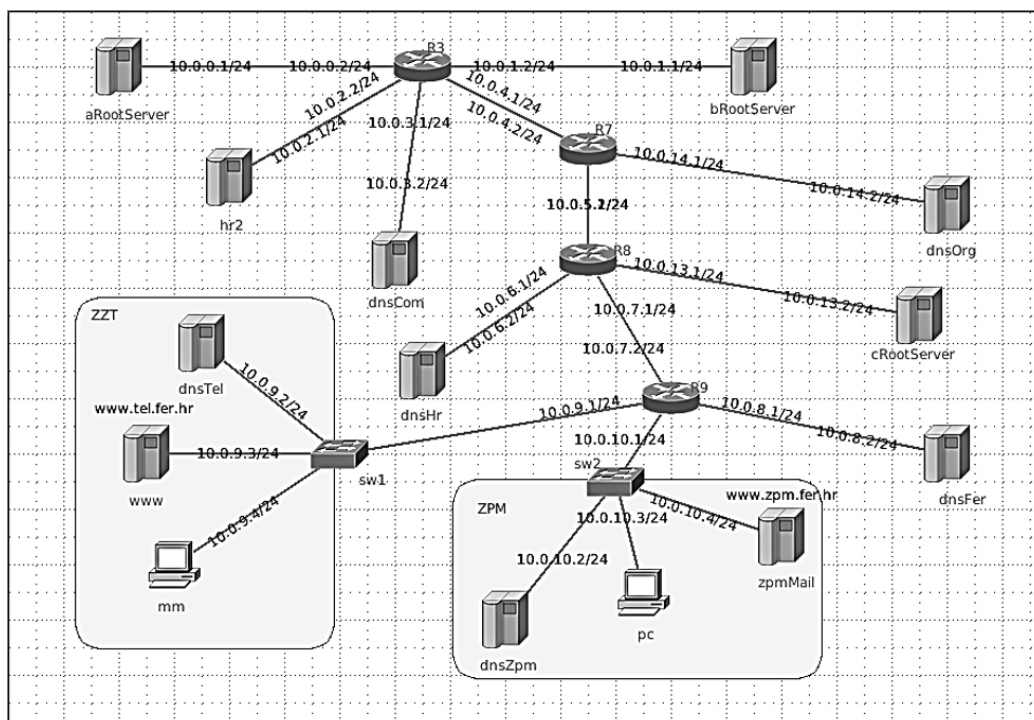
4. Implementacija DNSSEC-a u sustav IMUNES

Budući da je tema ovog rada demonstracija rada protokola DNSSEC u sustavu IMUNES, potrebni su nam program VirtualBox (<https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>) i pripremljeni paket podataka koji uključuje IMUNES i sve potrebne alate predviđen za otvaranje pomoću VirtualBox-a (http://www.imunes.net/dl/IMUNES_security.ova). Nakon što pokrenemo spomenuto virtualno okruženje potrebna nam je 9.9 ili novija inačica BIND-a, to se provjeri upisivanjem naredbe `named -v` u terminal. Sljedeća bitna stvar je pokretanje naredbe `named -V` i provjera koje su zastavice postavljene. Ako je postavljena zastavica `-with-openssl` onda je DNSSEC podržan i spreman je za daljnji rad, a ako nije onda je neophodno da nadogradimo sustav na noviju inačicu.

Na slici 4.1 prikazana je mreža koja je korištena u ovom završnom radu. Za sustav koji podržava DNSSEC sljedeći korak je omogućiti DNSSEC validaciju. Na disku pronademo mapu u kojoj se nalaze konfiguracije DNS poslužitelja (nastavak `.conf`) te za svaki poslužitelj otvorimo tu datoteku programom za uređivanje teksta te unutar bloka `options {...}` dodamo sljedeće dvije linije koda:

```
dnssec-validation auto;  
dnssec-enable yes;
```

Naredbom `dnssec-validation auto` omogućena je automatska validacija pretpostavljene sidra povjerenja koje se nalazi u datoteci `managed-keys`. Postoje još opcije `yes` i `no`, za opciju `yes` potrebno je ručno postaviti sidro povjerenja, a za opciju `no` DNSSEC validacija je isključena. Ako želimo uspostaviti DNSSEC validaciju prvo je potrebno omogućiti sami DNSSEC, a za to služi naredba `dnssec-enable yes`.



Slika 4.1: Prikaz korištene mreže

Pomoću alata "dig" provjerimo trenutno stanje. Nakon pokretanja eksperimenta u sustavu IMUNES (Experiment -> Execute) u terminalu se pozicioniramo u mapu u kojoj se nalaze datoteke vezane za ovaj projekt te naredbom "./start_dns" pokrenemo skriptu start_dns.pl koja pokreće i konfigurira sve DNS poslužitelje korištene u eksperimentu. Sadržaj te skripte prikazan je u nastavku.

```
#!/bin/sh
```

```
error() {
    echo $*
    exit 2
}
```

```
dns_servers="aRootServer bRootServer cRootServer \
    dnsCom dnsOrg dnsHr hr2 \
    dnsFer \
    dnsTel dnsZpm"
```

```
hosts="mm www pc zpmMail"
```

```

if test $# -eq 1; then
    eid=$1
else
    eid='himage -e aRootServer'
    if test $? -ne 0; then
        exit 1
    fi
fi

for i in $dns_servers
do
    himage $i@$eid killall -9 named 2> /dev/null
    hcp rndc.key $i@$eid:/usr/local/etc/namedb/rndc.key
    hcp bind.keys $i@$eid:/usr/local/etc/namedb/bind.keys
done

cd DNS_files

for i in $dns_servers
do
    himage $i@$eid mkdir -p /var/named/etc/namedb
    hcp $i/* $i@$eid:/var/named/etc/namedb
    echo Starting named on $i...
    himage $i@$eid named -c /var/named/etc/namedb/named.conf
done

echo
echo Copy/Create resolv.conf on clients:
for i in $hosts
do
    hcp resolv.$i $i@$eid:/etc/resolv.conf
done

```

Sada recimo s računala mm pošaljemo upit za "www.tel.fer.hr". U konzolu pokrenutu na računalu mm unesemo naredbu:

```
dig @10.0.9.2 www.tel.fer.hr. A +dnssec +multiline
```

U nastavku su prikazana najbitnija polja odgovora na navedeni upit.

```
; (1 server found)
;; Got answer:
;; ->HEADER<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 46595
;; flags: qr aa rd ra; QUERY: 1, ANSWER: 1, AUTHORITY: 1, ADDITIONAL:
2
;; OPT PSEUDOSECTION:
; EDNS: version: 0, flags: do; udp: 4096
;; ANSWER SECTION:
www.tel.fer.hr. 60000 IN A 10.0.9.3
```

Ovdje nam veliku ulogu igraju zastavice. Ovim korakom dobili smo zastavicu "do" (kratica od engl. DNSSEC OK) koja ukazuje na to da rekurzivni DNS poslužitelj zna kako postoji mogućnost da dobije potpisani DNS odgovor. Bit koji prikazuje zastavicu "do" prenosi se pomoću EDNS-a (kratica od engl. Extension mechanism for DNS), odnosno proširenja koje omogućuje slanje DNS zahtjeva i odgovora u većim paketima preko UDP-a. Vidimo da u ovom slučaju BIND već ima EDNS omogućen. Nakon što u potpunosti završimo konfiguraciju DNSSEC-a trebali bi ovdje vidjeti barem jedan RRSIG zapis kojim rekurzivni DNS poslužitelj verificira dobiveni odgovor.

Sljedeći korak je stvaranje ključeva, a navedeni postupak potrebno je ponoviti za svaki DNS poslužitelj u našoj mreži, osim za "slave" poslužitelje, a to su u ovom slučaju bRootServer, cRootServer i hr2. U nastavku je prikazano stvaranje ključeva za domenu hr. Potrebno je pozicionirati se u terminalu unutar mape u kojoj se nalaze konfiguracijske datoteke DNS poslužitelja dnsHr, a nakon toga upisati sljedeće naredbe:

```
dnssec-keygen -a RSASHA256 -b 1024 hr
dnssec-keygen -a RSASHA256 -b 2048 -f KSK hr
```

Pri čemu naredba dnssec-keygen generira ključeve, zastavica "-a" i navedeni zapis iz nje je odabir algoritma koji se koristi, zastavicom "-b" i brojem nakon nje određujemo željenu veličinu ključa, a zastavicom "-f" u drugoj liniji koda kažemo da želimo KSK ključ i naposljetku navedeno je buduće ime ključa.

Na ovaj način dobili smo dvije vrste ključeva, KSK (kratica od engl. Key Signing key) i ZSK (kratica od engl. Zone Signing key) te od svake vrste po jedan privatni i jedan javni ključ. Slika 4.2 prikazuje kada se koristi koji ključ i koliko često se to događa.

Ključ	Upotreba	Učestalost korištenja
ZSK privatni	Koristi ga autoritativni DNS poslužitelj za stvaranje RRSIG zapisa za podatke o zoni	Relativno često, svakom promjenom podataka o zoni
ZSK javni	Koristi ga rekurzivni DNS poslužitelj za validaciju podataka iz zone	Često, kad god rekurzivni DNS poslužitelj vrši validaciju DNS odgovora
KSK privatni	Koristi ga autoritativni DNS poslužitelj za stvaranje RRSIG zapisa za ZSK i KSK javni ključ (DNSKEY)	Rijetko, kada se promijene ZSK ili KSK, npr. jednom godišnje
KSK javni	Koristi ga rekurzivni DNS poslužitelj da provjeri je li DNSKEY validan	Često, kad god rekurzivni DNS poslužitelj provjerava je li DNSKEY validan

Slika 4.2: Uloga KSK i ZSK ključeva

Ukratko, KSK ključevi (koji se rijetko mijenjaju) potpisuju ZSK, a ZSK potpisuje DNS zapis pa je zapravo za provjeru valjanosti DNS zapisa bitan samo KSK. Također samo KSK se u formi DS zapisa prosljeđuje roditelju u lancu povjerenja, koji potom potpisuje DS zapis svojim KSK ključem i tako dalje prema korijenu, odnosno sidru povjerenja.

Nakon stvaranja ključeva potrebno je ponovno urediti `named.conf` konfiguracijsku datoteku za svaki DNS poslužitelj koji koristimo tako da (npr. za `dnsHr`) unutar bloka zone "hr" {...} unesemo sljedeće naredbe:

```
key-directory "/etc/namedb";
inline-signing yes;
auto-dnssec maintain;
```

Naredbom `key-directory` dodajemo put do ključa, a `inline-signing` služi za potpisivanje zone pomoću ključeva koji se nalaze na lokaciji navedenoj u nastavku `key-directory` naredbe. `Inline-signing` je onemogućeno po pretpostavljenoj vrijednosti i zato je potrebno izričito reći da želimo omogućiti potpisivanje zone. Naredbom `auto-dnssec` se zadaje način upravljanja ključevima, postoje opcije `off` (pretpostavljena vrijednost) za ručno upravljanje ključevima, `allow` dopušta ponovno potpisivanje zona kada korisnik unese naredbu `rndc sign`, a opcija `maintain` koju mi koristimo daljnju brigu prepušta BIND-u, odnosno potpisivanje i vršenje određenih korekcija odvija se automatski.

Potrebno je stvoriti `rndc` konfiguracijske datoteke pomoću istoimenog alata. `RNDC` (Remote Name Daemon Control) je pomoćni program za kontrolu servera u BIND-u. `Rndc.key` datoteka sadrži tajni ključ koji omogućuje povezivanje poslužitelja ako se

ključevi podudaraju. Za početak kreirat ćemo datoteke za jedan proizvoljni poslužitelj te ćemo taj ključ kopirati na sve poslužitelje. Unesimo za primjer naredbu:

```
himage dnsTel rndc-confgen -a
```

Tako smo stvorili automatsku rndc konfiguraciju na poslužitelju dnsTel koja nam je u ovom slučaju dovoljna. Ta konfiguracija je sada na virtualnom čvoru pa ćemo upotrijebiti naredbu

```
hcp dnsTel:/usr/local/etc/namedb/rndc.key .
```

kako bi datoteku rndc.key kopirali na stvarni operacijski sustav.

Nadalje, u radnoj mapi potrebno je stvoriti novu tekstualnu datoteku, dodijeliti joj ime bind.keys i u nju kopirati sve KSK ključeve po zonama tako da korijenski javni KSK ključ stavimo u managed-keys blok, a ostale u trusted-keys blok. To izgleda otprilike ovako:

```
managed-keys {  
    . initial-key 257 3 8 "AwEAAfP1M/N1u...OLA6tk=";  
};  
  
trusted-keys {  
    hr. 257 3 8 "AwEAAZR2LFjTzxt0...RBjOnlMk=";  
    fer.hr. 257 3 8 "AwEAAerUor/t2...n5CodQfObk=";  
    tel.fer.hr. 257 3 8 "AwEAAaIbMS...QsldEGkz1s=";  
    zpm.fer.hr. 257 3 8 "AwEAAAb4e83...7tSO4Twwb0=";  
    com. 257 3 8 "AwEAAAdTLa8DtvO...tlBhtRJE/0M=";  
    org. 257 3 8 "AwEAAAdGgf1H...OW 1SVs/gNyNB0=";  
};
```

Ovime smo uspostavili međusobno povjerenje između zona jer će sada DNS poslužitelji vjerovati ključevima koje smo ranije generirali. To možemo provjeriti upisom naredbe:

```
cat var/named/etc/namedb/managed-keys.bind
```

na bio koji virtualni čvor. U ispisu vidimo njegov KSK ključ, nakon njega polje u kojem piše "trusted since" i današnji datum nakon toga.

5. Rezultati

DNSSEC nije novi protokol pa nije za očekivati neke velike razlike u zapisima. Razlika je samo u nekoliko zastavica i novih zapisa, ali to uvelike utječe na sigurnost. Ispravnost rada DNSSEC-a najbolje se može testirati alatom delv. Delv je sličan već spomenutom dig-u, samo što je posebno prilagođen za DNSSEC. BIND inačice novije od 9.10 imaju već instaliran alat delv, ali ako nemate dovoljno novu inačicu BIND-a nadogradnja je jednostavna. Potrebno je prvo obrisati trenutnu inačicu (vjerojatno 9) i nakon toga instalirati novu inačicu, npr. trenutno najnoviju 9.14 naredbama

```
pkg_imunes delete bind9
pkg_imunes install bind914
```

U nastavku su navedene neke naredbe kojima možemo provjeriti funkcionalnost DNSSEC-a te očekivani i dobiveni odgovori.

Ako traženi zapis postoji i prolazi DNSSEC validaciju trebamo dobiti poruku "fully validated", kao što dobijemo kada na poslužitelju dnsTel pošaljemo upit za A zapis računala www.tel.fer.hr, odnosno tražimo njegovu IP-adresu naredbom

```
root@dnsTel# delv @127.0.0.1 +root=tel.fer.hr www.tel.fer.hr A +multiline
pri čemu je sidro povjerenja postavljeno na domenu tel.fer.hr zastavicom "+root", a u nastavku je odgovor koji dobijemo:
```

```
; fully validated
www.tel.fer.hr. 60000 IN A 10.0.9.3
www.tel.fer.hr. 60000 IN RRSIG A 8 4 60000 (
    20190613120058 20190603073058 48270 tel.fer.hr.
    csh3XrTJJluQBwze4FRuKQyCbAGJPCU1SfHFtFpIvtnB
    89fJ0A/4dr7fb8X1lP9f+vTZjiPkMZd7IgfhLq0ppCka
    /eVx5n4VlkvT4JWKfe7zLK64SV+cJN2fkngxu2XxXO53s
    Ps4j+QHsL4F3r29eJqAj+x7rxgBVNmpyky9Gt9k= )
```

Vidimo da smo uz traženu IP-adresu dobili i RRSIG zapis. Ranije je objašnjeno da

svaka potpisana zona generira barem jedan RRSIG zapis te i po tome možemo zaključiti da je zona koju ispituje potpisana.

Kada pokušamo dohvatiti zapis koji ne postoji, kao što je "A" zapis za domenu tel.fer.hr, očekivano dobijemo negativan odgovor koji je također potpisan. Dakle za upit root@dnsTel:/ # delv @127.0.0.1 +root=tel.fer.hr tel.fer.hr A +multiline dobijemo odgovor koji slijedi u nastavku.

```
;; resolution failed: ncache nxrrset
; negative response, fully validated
; tel.fer.hr. 3200171710 IN A ;-$NXRRSET
; tel.fer.hr. SOA dnsTel.tel.fer.hr. root.dnsTel.tel.fer.hr.tel.fer.hr. 2002102804 28
14 3600000 0
; tel.fer.hr. RRSIG SOA ...
; tel.fer.hr. RRSIG NSEC ...
; tel.fer.hr. NSEC dnsTel.tel.fer.hr. NS SOA MX RRSIG NSEC DNSKEY
TYPE65534
```

Vidimo NSEC zapis koji je kao što smo već rekli dokaz nepostojanja te iz toga i poruke "fully validated" zaključujemo da i u ovom slučaju sve funkcionira kako bi trebalo.

Rezultate možemo pogledati i u alatu Wireshark. Za primjer snimimo mrežni promet na računalu mm. Desnim klikom miša na računalu mm dobit ćemo izbornik u kojem odaberemo Wireshark -> eth0 (10.0.9.4/24), tako smo započeli snimanje mrežnog prometa na sučelju eth0 računala mm. Zatim pokrenemo konzolu na računalu mm i pošaljemo upit na dnsTel o ključevima korijenskog polužitelja pomoću alata dig i sljedeće naredbe:

```
dig @10.0.9.2 . dnskey
```

Zaustavimo snimanje prometa i pogledamo što sve sadrži DNS odgovor. Kao što smo već rekli, DNSSEC nije novi protokol pa u polju protokol još uvijek piše samo DNS. Na slikama 5.1 i 5.2 vidimo postavljene zastavice i vrijednosti polja za dobiveni DNS odgovor. Među njima su zastavica "answer authenticated" koja nam govori da je poslužitelj potvrdio autentičnost podataka, zastavice koje govore da se u odgovoru nalaze ZSK i KSK ključevi, naveden je algoritam koji se koristio pri generiranju ključeva, vidimo ispis ključeva i još neke druge dodatne zapise kao što je inačica EDNS-a koja se koristi.

```

▼Domain Name System (response)
▼ Flags: 0x81a0 Standard query response, No error
  1... .. = Response: Message is a response
  .000 0... .. = Opcode: Standard query (0)
  .... 0... .. = Authoritative: Server is not an authority for domain
  .... ..0... .. = Truncated: Message is not truncated
  .... ..1... .. = Recursion desired: Do query recursively
  .... ..1... .. = Recursion available: Server can do recursive queries
  .... ..0... .. = Z: reserved (0)
  .... ..1... .. = Answer authenticated: Answer/authority portion was authenticated
  .... ..0... .. = Non-authenticated data: Unacceptable
  .... ..0000 = Reply code: No error (0)
Questions: 1
Answer RRs: 2

```

Slika 5.1: DNSSEC zastavice u alatu Wireshark

```

▼ Flags: 0x0101
  .... ..1... .. = Zone Key: This is the zone key for specified zone
  .... ..0... .. = Key Revoked: No
  .... ..1... .. = Key Signing Key: Yes
  0000 000. .000 000. = Key Signing Key: 0x0000
Protocol: 3
Algorithm: RSA/SHA-256 (8)
[Key id: 16732]
Public Key: 03010001f3f533f375b8a54ac5ecfbca2d6bf70a3b2fdd12...
▼ <Root>: type DNSKEY, class IN
  Name: <Root>
  Type: DNSKEY (48)
  Class: IN (0x0001)
  Time to live: 58757
  Data length: 136
▼ Flags: 0x0100
  .... ..1... .. = Zone Key: This is the zone key for specified zone
  .... ..0... .. = Key Revoked: No
  .... ..0... .. = Key Signing Key: No
  0000 000. .000 000. = Key Signing Key: 0x0000
Protocol: 3
Algorithm: RSA/SHA-256 (8)
[Key id: 38883]
Public Key: 03010001cd7031f9ef3ccc2221b9b944811b1463bb26418e...
▼ Additional records
▼ <Root>: type OPT
  Name: <Root>

```

Slika 5.2: Prikaz KSK i ZSK ključeva u alatu Wireshark

6. Zaključak

DNS protokol je nezaštićen pa postoje ozbiljni sigurnosni problemi i puno mogućnosti napada na korisnike. Zbog toga je nastao DNSSEC, sigurnosni dodatak DNS-u koji DNS odgovorima osigurava autentičnost i integritet, odnosno sprječava napadače u njihovim zlim namjerama.

Nažalost, DNSSEC još uvijek nije implementiran na većini DNS poslužitelja, a upravo to je potrebno kako bi njegova korist došla do izražaja te kako bi se izgradio globalno siguran sustav. Valja napomenuti da konfiguracija DNSSEC-a nije nimalo jednostavna u što će se brzo uvjeriti svi koje se u tome okušaju. Svaka i najmanja greška u konfiguraciji učini stranice i servise nedostupnima, a to naravno negativno utječe na poslovanje pa je upravo složenost konfiguracije glavni razlog zašto DNSSEC još uvijek nije u širokoj upotrebi. Potrebno je omogućiti DNSSEC, postaviti odgovarajuću opciju validacije, generirati ključeve koji u dovoljno sigurni za vaše potrebe, redovito ih mijenjati, pažljivo testirati i onda još sve skupa održavati. A kada se cijeli taj postupak odvija na virtualnim čvorovima zbog rada u sustava IMUNES, posao se dodatno komplicira.

Podrška od strane DNS poslužitelja koji su nadležni za određenu domenu je samo jedna polovica DNSSEC-a, drugi dio čini podrška od strane korisnika i DNS prevoditelja. Potrebno je posebno konfigurirati DNS prevoditelj da traži i provjerava DNSSEC potpise jer gotovo sav često korišteni softver podržava korištenje DNSSEC-a (kako sa strane poslužitelja i prevoditelja, tako i sa strane korisnika), ali provjera DNSSEC potpisa nije automatski uključena niti na jednom često korištenom operacijskom sustavu. Trenutno je moguće djelomično se zaštititi kao krajnji korisnik ako svoje uređaje konfiguriramo tako da uvijek pri slanju DNS upita provjeravaju postoji li DNSSEC potpis i ako postoji da ga provjere. Ako to učinimo spriječit ćemo lažiranje DNS odgovora barem za domene koje su već zaštićene DNSSEC-om.

LITERATURA

- [1] Internet Systems Consortium Inc. BIND DNSSEC Guide, 2014. URL <https://ftp.isc.org/isc/dnssec-guide/dnssec-guide.pdf>.
- [2] Laboratorij za sustave i signale Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Sigurnosne ekstenzije DNS sustava, 2011. URL <https://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2012-06-052.pdf>.
- [3] Laboratorij za sustave i signale Zavoda za elektroničke sustave i obradbu informacija Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. DNSSEC, 2017. URL https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2017/11/DNSSEC_0.pdf.
- [4] Nick Sullivan. DNSSEC: An Introduction. <https://blog.cloudflare.com/dnssec-an-introduction/>, 2014. Online; pristupljeno: 20. svibnja 2019.

Demonstracija rada protokola DNSSEC u sustavu IMUNES

Sažetak

Ukratko su objašnjeni najvažniji pojmovi vezani za DNS, sigurnosni problemi koji se javljaju i sigurnosno proširenje DNSSEC te način rada DNSSEC-a i zašto je bitan. Nakon toga prikazan je jedan način konfiguracije potrebnih datoteka. Uspostava DNSSEC-a nije nimalo jednostavna i lako se mogu dogoditi pogreške, a svaka i najmanja pogreška prouzročit će neispravan rad sustava. Iz tog razloga DNSSEC još uvijek nije implementiran na velikom broju DNS poslužitelja i zato je u ovom radu prikazano korak po korak kako implementirati DNSSEC, a nakon toga i kako provjeriti funkcionira li sustav ispravno, odnosno potpisuju li se zone i validiraju li se DNS odgovori.

Ključne riječi: DNS, DNSSEC, sigurnost, DNS proširenje, IMUNES, DNSSEC implementacija, BIND

Demonstration of DNSSEC protocol using IMUNES system

Abstract

Keywords: DNS, DNSSEC, security, DNS extensions, IMUNES, DNSSEC implementation, BIND