Uvod u računarske sisteme

Zaštita komunikacionih kanala

Protokoli SSL, SSH, IPSec

Nemanja Maček

Sadržaj

- Kriptografski protokoli
- Protokol Secure Socket Layer (SSL)
- Protokol SSH i OpenSSH implementacija
- IPSec

Kriptografski protokoli

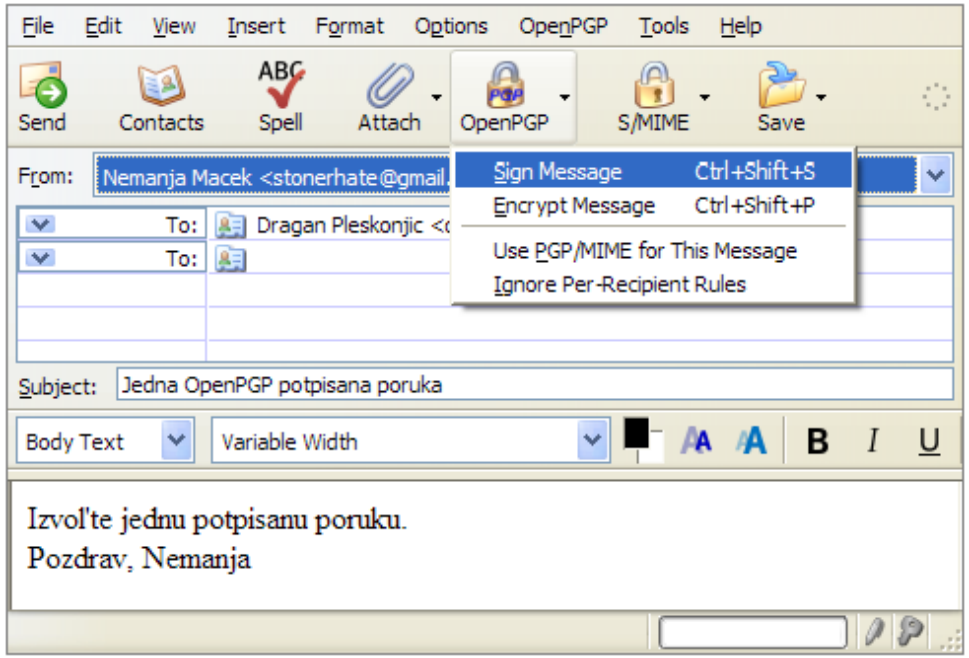
- Protokol je skup pravila i konvencija koji definiše komunikacioni okvir između dva ili više učesnika u komunikaciji.
  - Uspostava veze
  - Održavanje veze
  - Raskid veze
  - Oporavak u slučaja prekida veze
  - Učesnici u komunikaciji: krajnji korisnici, procesi ili računarski sistemi.
- Ukoliko je bar jedan deo poruke šifrovan, protokol se može smatrati **kriptografskim**.
- **Kriptografski protokoli** su protokoli koji se oslanjaju na kriptografske metode zaštite kako bi učesnicima u komunikaciji obezbedili usluge **poverljivosti**, **integriteta** i **neporecivosti**.
- Postoji mnoštvo protokola koji pružaju sigurnost na različitim nivoima skupa protokola TCP/IP.
- Prednosti i lose strane implementacije na različitim slojevima ilustrujemo na primeru:
  - Aplikacionog sloja
  - Mrežnog sloja.

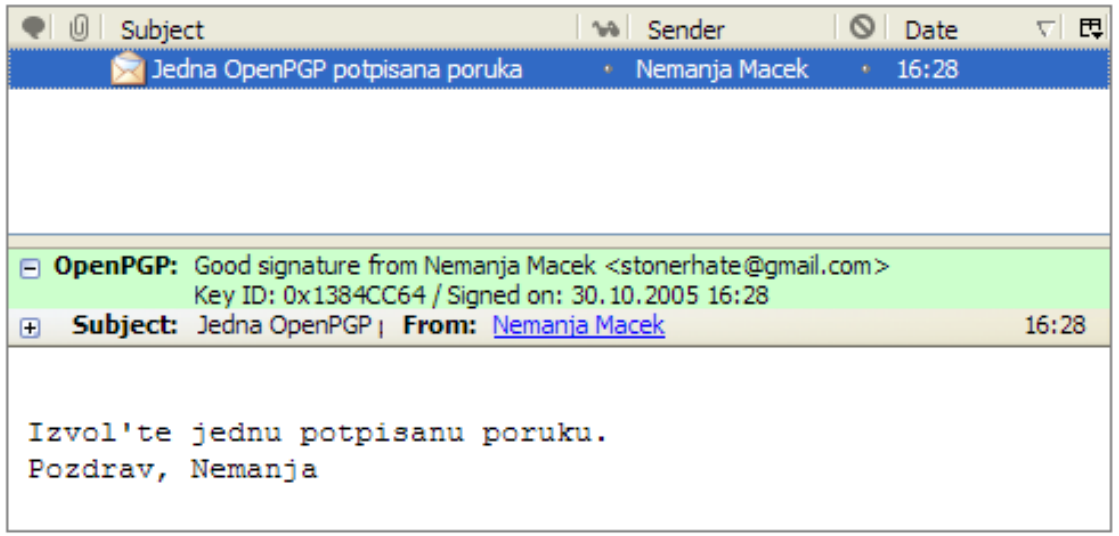
Kriptografski protokoli

- **Kriptografski protokoli na sloju aplikacije**.
- Moraju biti implementirani u krajnjim tačkama komunikacije (najčešće, na računarima).
- Prednosti:
  - Aplikacija može da se proširi bez oslanjanja na sigurnosne usluge koje obezbeđuje OS.
  - Kompletan pristup podacima koje korisnik želi da zaštiti.
    - Olakšano obezbeđivanje sigurnosnih usluga (na primer, neporecivosti).
    - Lak pristup akreditivima korisnika (poput privatnih ključeva).
- Loše strane i potencijalni problemi:
  - Sigurnosni mehanizami moraju se projektovati za svaku aplikaciju posebno.
    - To znači da se postojeće aplikacije moraju izmeniti i/ili proširiti.
  - Projektovanje više različitih sistema $\rightarrow$ veća verovatnoća greške i sigurnosnih propusta.

Kriptografski protokoli

- **Kriptografski protokoli na sloju aplikacije**.
- Primer: OpenPGP
  - Klijent e-pošte “proširuje” se procedurama za pronalaženje javnih ključeva korisnika, šifrovanje i dešifrovanje i proveru autentičnosti poruka.





Kriptografski protokoli

- **Kriptografski protokoli na mrežnom sloju**.
- Prednosti:
  - Premašenje izazvano razmenom ključeva značajno je smanjeno.
  - Svi transportni protokoli i aplikacije sada dele infrastrukturu upravljanja ključem koju obezbeđuje mrežni sloj.
  - Promene aplikacija su značajno manje (minimalne) u odnosu na prethodni slučaj.
  - Mogućnost izgradnje virtuelne privatne mreže (VPN-a).
- Loše strane i potencijalni problemi:
  - Teško obezbeđivanje usluge neporecivosti.
    - Znatno lakše se ostvaruje na višim slojevima!
  - Teško ostvarivanje kontrole na nivou korisnika na višekorisničkom računaru.
  - Rešenje problema: uvođenje dodatnih mehanizama na krajnjim računarima.

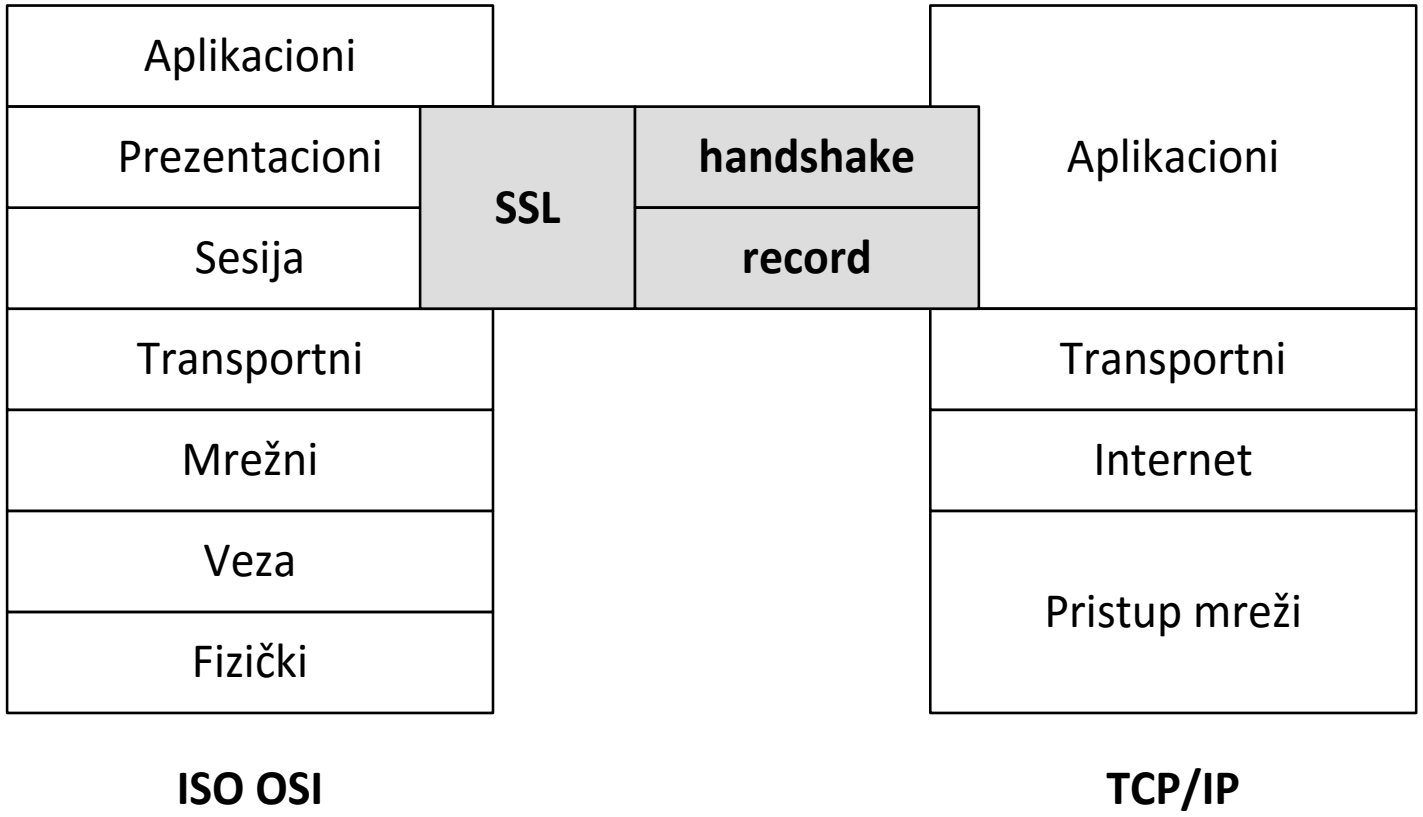
Protokol Secure Sockets Layer (SSL)

- Protokol SSL obezbeđuje mehanizme za identifikaciju dva sagovornika povezana računarskom mrežom i zaštićeni prenos podataka između njih.
- **Kriterijumi projektovanja**.
  - Kriptografska zaštita.
  - Nezavisnost od softvera i hardvera.
    - Dva različita programa koji koriste SSL (npr. Web server i Web čitač) mogu razmeniti parametre šifrovanja, bez međusobnog poznavanja koda.
  - Proširivost.
    - U okvir se u slučaju potrebe mogu uklopiti novi algoritmi.
    - Nema potrebe za projektovanjem novih protokola $\rightarrow$ manja šansa pojavljivanja novih sigurnosnih propusta i grešaka.
  - Efikasnost.
    - SSL kešira komunikacione parametre ostvarenih veza.
    - Manji broj veza koje mora ponovo da uspostavlja $\rightarrow$ manje se opterećuje procesor.

Protokol Secure Sockets Layer (SSL)

- **Zadatak SSL protokola** je da ostvari zaštićeni prenos podataka kroz mrežu.
- SSL obezbeđuje mehanizme za:
  - Identifikaciju servera.
  - Identifikaciju klijenta.
  - Šifrovanu razmenu podataka između njih.
- To čini potpuni sistem zaštićene komunikacije dva mrežna entiteta.
- Za ostvarivanje zaštićenog prenosa, protokol SSL moraju podržavati i klijent i server.
- **Svojstva SSL-a**.
  - Privatnost (šifrovanje podataka simetričnim algoritmima).
  - Provera identiteta (provera identiteta klijenta, odnosno servera, javnim ključem).
  - Pouzdanost (provera integriteta primljenih podataka).

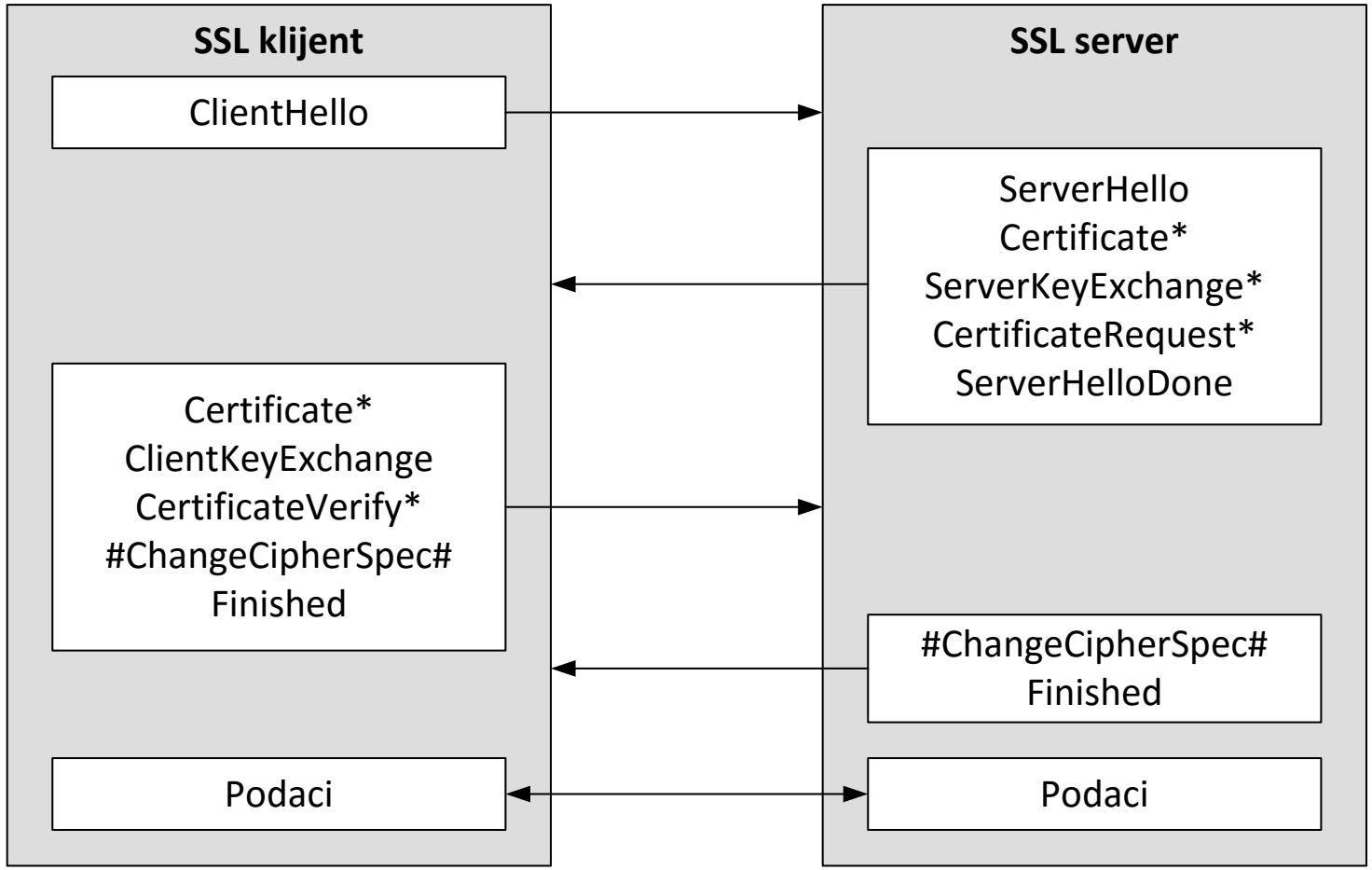
Protokol Secure Sockets Layer (SSL)



Protokol Secure Sockets Layer (SSL)

- SSL se sastoji od dva protokola:
- **SSL Handshake protokol** (protokol za rukovanje, tj. uspostavljanje sesije).
  - Međusobna identifikacija klijenta i servera.
    - Očekivani minimum: identifikacija servera slanjem svog sertifikata klijentu.
      - Za identifikaciju servera koristi se javni ključ i digitalni potpis servera.
      - Komunikacija servera ili klijenta sa CA nije deo protokola SSL!
      - Određena je drugim preporukama i standardima.
    - SSL može uspostaviti sesiju bez identifikacije klijenta i servera.
      - Tada je nivo zaštite prenosa podataka vrlo nizak.
      - Podaci se štite samo simetričnim šifrovanjem.
      - Ključ je nezaštićenom komunikacijom dogovoren između klijenta i servera.
  - Razmena parametara za prenos (odabir algoritma i ključeva).
- **SSL Record protokol** (protokol za zapise).
  - Zadužen za šifrovanje i prenos poruka.

SSL Handshake



SSL Handshake

- K → S: Pozdravna poruka `ClientHello`.
- S → K: Pozdrav `ServerHello` (ako ovog nema, sledi prekid komunikacije).
  - Pozdravne poruke koriste se za uspostavljanje atributa sesije.
    - Klijent u svom pozdravu nudi serveru listu mogućih načina šifrovanja i komprimovanja.
    - Server bira najbolju kombinaciju koju može da prihvati.
- S → K: Sertifikat (`Certificate`).
  - Server može tražiti klijentov sertifikat (`CertificateRequest`) ako je to u skladu sa dogovorenim algoritmima šifrovanja.
  - U tom slučaju on očekuje ili sertifikacionu poruku ili izveštaj da klijent nema sertifikat.
- S → K: Poruka o kraju pozdrava (`ServerHelloDone`).
- K → S: Novi atributi (`#ChangeCipherSpec#`) kojima će slati šifrovane podatke.
  - Klijent postavlja nove attribute za aktivne.
- K → S: Izveštaj o kraju slanja šifrovan aktivnim atributima (`Finished`).
- S → K: Server šalje svoje attribute i izveštaj o kraju slanja šifrovan novim atributima.

SSL Handshake

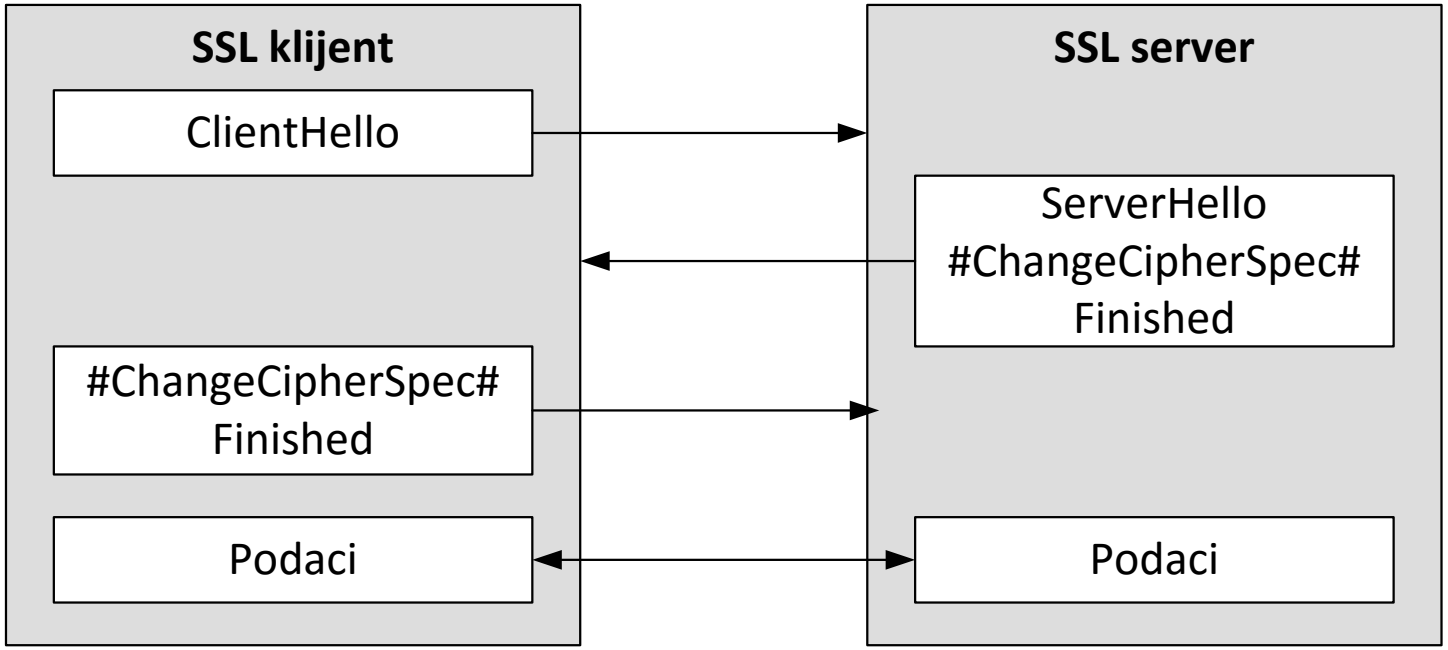
- Kada SSL protokol za rukovanje identifikuje server i/ili klijent i dogovori načine šifrovanja kažemo da je uspostavljena **sesija** (*session*).
- **Atributi kojima je opisana sesija** se dogovaraju unutar faze uspostavljanja sesije (*handshake*):
  - Identifikator sesije.
    - Niz bajtova koji ugovaraju klijent i server i koji jedinstveno identifikuje tu sesiju.
  - Potvrda entiteta.
    - Ako je sesija uspostavljena bez identifikacije klijenta i servera, atribut je NULL.
  - Algoritam kompresije.
    - Ako se kompresija ne obavlja, atribut je NULL.
  - Kriptografski algoritmi (algoritam za simetrično šifrovanje i jedna heš funkcija).
  - Zajednička tajna.
    - Koristi se za generisanje simetričnih ključeva i izračunavanje MAC vrednosti.
  - Proširivost.
    - Oznaka koja pokazuje može li se unutar date sesije uspostaviti nova veza.

SSL Handshake

- Često klijent i server žele paralelno da uspostave više sesija.
  - Primer: prenos datoteke i čitanje sadržaja Web stranice.
- Zato je omogućeno da se unutar jedne sesije uspostaviti više **veza** (*connection*).
- **Atributi SSL veze** su:
  - Slučajne vrednosti klijenta i servera.
    - Koriste se za šifrovanje i moraju biti različite.
  - Serverova i klijentova MAC tajna.
    - Koriste se za identifikaciju poruka koje šalje server, odnosno klijent.
  - Serverov i klijentov simetrični ključ.
    - Ključ kojima server šifruje, a klijent dešifruje poruke, i obrnuto.
  - Redni brojevi poruka.
    - I klijent i server moraju da vode računa o rednim brojevima poslatih i primljenih poruka.
    - Ako se u toku veze promene načini šifrovanja, redni brojevi se postavljaju na nulu.
    - Promenom atributa sesije i veze za vreme njihovog trajanja postiže se **viši nivo zaštite**.

Obnavljanje SSL sesije

- Klijent i server imaju mogućnost da nastave razgovor ukoliko su ranije već komunicirali.
- Time se preskače provera verodostojnosti i dogovaraju se samo nužni novi atributi.



SSL Record

- Na strani **pošiljaoca** SSL protocol za zapise:
  - Prima podatke s višeg sloja.
  - Deli podatke na na blokove fiksne dužine.
    - Više poruka može biti spojeno u jedan fragment ili jedna poruka podeljena u više fragmenata.
  - Komprimuje fragmente (ukoliko je to dogovoreno).
  - Šiti fragmente simetričnim algoritmom (privatnost) i MAC algoritmom (integritet poruke),
  - Šalje poruku nižim slojevima.
- Na strani **primaoca** SSL protokol za zapise:
  - Dešifruje primljeni fragment.
  - Izračunava MAC vrednost i upoređuje je sa onom koju je generisao pošiljalac.
    - Ukoliko su ove MAC vrednosti identične, poruka se prihvata.
    - U suprotnom vraća se izveštaj o grešci.

SSL izveštaji

- Izveštaj je posebna vrsta poruka koju SSL koristi za osiguravanje ispravnog toka sesije.
- Dve vrste izveštaja:
- **Izveštaj o kraju veze**.
  - Služi za dogovor o kraju veze pre samog prekida veze.
  - Kraj može inicirati bilo koji učesnik.
- **Izveštaj o grešci**.
  - Ako jedan od učesnika ustanovi grešku prilikom komunikacije, obavestiće o tome sagovornika pomoću izveštaja o grešci.
  - Ako greška ugrožava sigurnost prenosa oba sagovornika istovremeno prekidaju vezu.
  - Komunikacija preko drugih veza unutar sesije može se nastaviti.
    - Neophodno je da se promeni identifikator sesije.

SSL izveštaji

- **Izveštaj o grešci**.
  - Neočekivana poruka.
    - Rezultuje prekidom veze (SSL sumnja na napad tipa fabrikovanje podataka).
  - Neispravna MAC vrednost.
    - Rezultuje prekidom veze (SSL sumnja na napad tipa izmena podataka).
  - Greška prilikom dekompresije.
  - Greška u fazi uspostavljanja sesije.
    - Pošiljalac nije u mogućnosti da se uskladi sa atributima zaštite koji su mu predloženi.
    - Rezultuje prekidom sesije (u ovom slučaju veze još nisu uspostavljene).
  - Greške vezane za sertifikate.
    - Nema sertifikata, nevažeći sertifikat, poništen sertifikat, …
  - Nevažeći parameter
    - Vrednost nekog atributa nalazi se van dozvoljenih vrednosti ili je nekonsistentna s ostalim vrednostima.
    - Rezultuje prekidom veze.

Protokol SSH i OpenSSH implementacija

- **Secure Shell** (SSH) je popularan protokol za šifrovanje komunikacionih kanala, koji se najčešće koristi za obezbeđivanje sigurnih sesija udaljenog prijavljivanja na sistem.
- **OpenSSH**.
  - Besplatna verzija SSH familije kriptografski zaštićenih mrežnih protokola.
  - Omogućava udaljeno prijavljivanje na sistem, pristup komandnoj liniji i prenos datoteka između računara.
- Serverska OpenSSH komponenta (`sshd`) osluškuje (podrazumevano na portu 22).
- Server odgovara shodno klijentskoj aplikaciji koja je poslala zahtev sa udaljenog računara:
  - Zahtev šalje `ssh` klijent.
    - OpenSSH server podešava pristup komandnoj liniji nakon autentifikacije.
  - Zahtev šalje `scp` klijent.
    - OpenSSH server pokreće servis sigurnog kopiranja datoteka nakon autentifikacije.

Protokol SSH i OpenSSH implementacija

- OpenSSH koristi nekoliko metoda autentifikacije:
  - Lozinkom
  - Kriptografskim ključevima
  - Kerberos tiketima
  - PAM modulima (poput OTPW).
- Autentifikacija pomoću ključeva:
  - Prednosti:
    - "*To be as hard to guess as a normal SSH key, a password would have to contain 634 random letters and numbers*."
    - Sprečavaju se napadi pogađanjem lozinki, uključujući i društveni inženjering!
  - Mane:
    - Možete prijaviti samo sa računara sa kog je prethodno dozvoljen SSH pristup.
    - Pristup nije moguć ukoliko slučajno obrišete ključ sa računara kom je dozvoljen pristup.
    - Šta ćemo da radimo ako zabranite lokalni login a ostane ključ?

OpenSSH

- OpenSSH klijentske i serverske aplikacije instaliraju se sledećim komandama:

```
sudo apt-get install openssh-client
sudo apt-get install openssh-server
```

OpenSSH

- Serverski paket “openssh-server” takođe možete označiti kao paket koji želite da instalirate prilikom instalacije Ubuntu Server distribucije.
- OpenSSH server (`sshd`) konfiguriše se izmenom sadržaja datoteke `/etc/ssh/sshd_config`.
- Direktive koje kontrolišu rad sshd servisa odnose se na mrežna podešavanja i režime autentifikacije.
- Pre izmene sadržaja, poželjno je da napravite rezervnu kopiju konfiguriacione datoteke, kako bi ste originalna podešavanja mogli da koristite kao referencu.

```
sudo cp /etc/ssh/sshd_config /etc/ssh/sshd_config.original
sudo chmod a-w /etc/ssh/sshd_config.original
```

- Detaljna uputstva o konfigurisanju servisa možete naći u man stranici konfiguracione datoteke:

```
man sshd_config
```

- Sadržaj datoteke možete izmeniti editorom nano:

```
sudo gedit /etc/ssh/sshd_config
```

OpenSSH

- Nekoliko primera konfiguracionih direktiva:
  - OpenSSH server sluša na TCP portu 2345 umesto na podrazumevanom portu 22:
    ```
    Port 2345
    ```
  - Server dozvoljava autentifikacija pomoću kriptografije sa javnim ključevima:
    ```
    PubkeyAuthentication yes
    ```
  - Zabrana prijavljivanja korisnika root na sistem (ukoliko mu je dodeljena lozinka):
    ```
    PermitRootLogin no
    ```
- Nakon izmene sadržaja datoteke `/etc/ssh/sshd_config` potrebno je da zaustavite i ponovo pokrenute OpenSSH servis komandom:
  ```
  sudo service ssh restart
  ```

OpenSSH

- Napomene:
  - Ukoliko je ssh jedini način pristupa udaljenom računaru, greška u konfiguraciji može „odseći“ pristup serveru nakon ponovnog pokretanja.
    - U tom slučaju konfiguraciji OpenSSH servera treba pristupiti veoma pažljivo!
  - Obratite pažnju o kojoj konfiguracionoj datoteci se radi!
    - Datoteka sshd_config je konfiguraciona datoteka OpenSSH servera.
    - Datoteka ssh_config je konfiguraciona datoteka OpenSSH klijenta.

Kontrola pristupa računaru preko SSH servisa

- Pristup sistemu preko SSH servisa treba ograničiti tako da samo oni korisnici kojima je servis zaista potreban mogu da ga koriste.
- Na primer, korisnicima `George` i `Schultz` možete dozvoliti pristup navođenjem `AllowUsers` direktive u datoteci `/etc/ssh/sshd_config`:

  ```
  AllowUsers George Schultz
  ```
- Slično, korisniku `Messerschmitt` možete zabraniti SSH pristup direktivom:

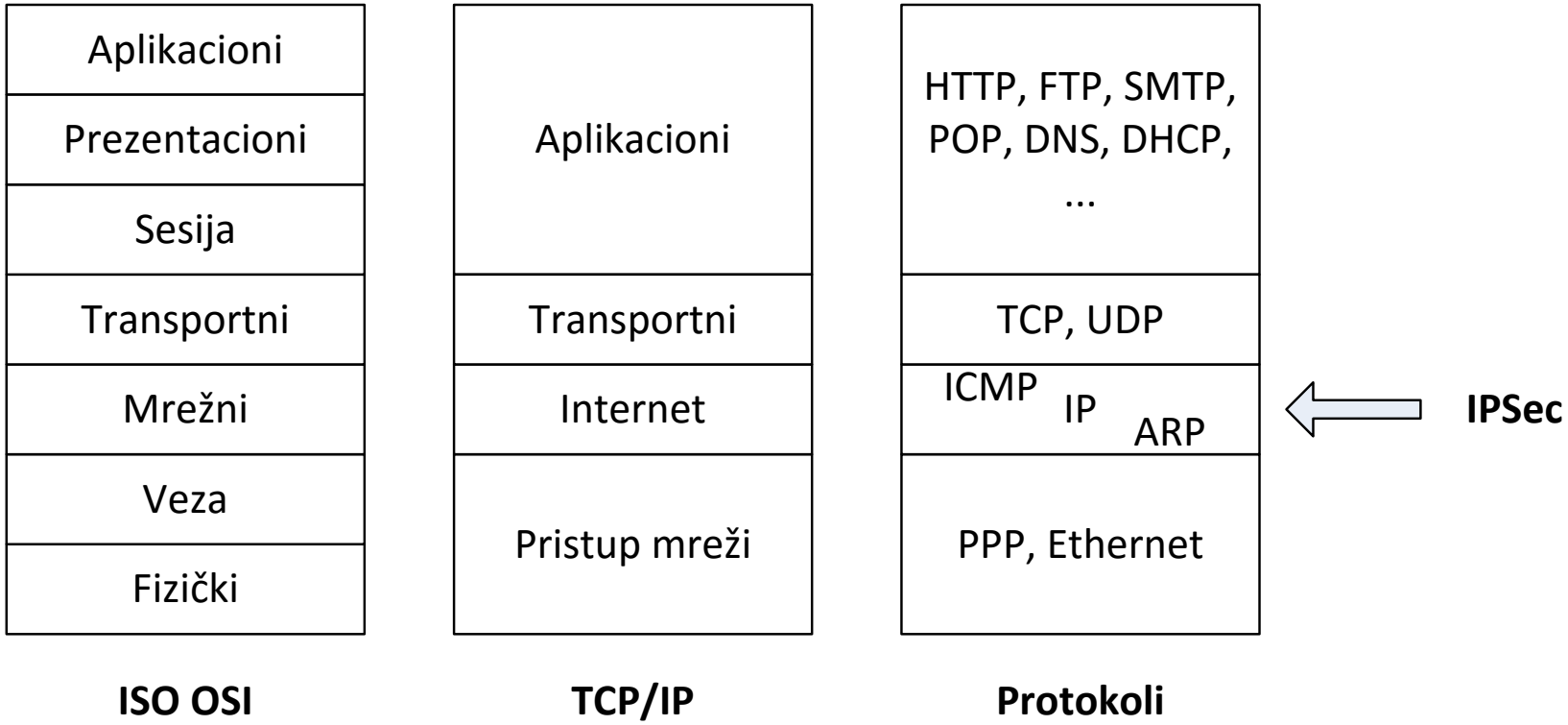
  ```
  DenyUsers Messerschmitt
  ```
- Takođe, ograničenje možete postaviti kreiranjem korisničke grupe (npr “`sshkorisnici`”), u koju će biti učlanjeni korisnici kojima je dozvoljen SSH pristup.

  ```
  AllowGroups sshkorisnici
  ```

IPSec

- **IPSec** (IP Security) je skup proširenja protokola IPv4 i integralni deo protokola IPv6.
- IPSec NIJE protokol.
  - To je skup protokola, algoritam i opšti okvir (*framework*).
- IPSec obezbeđuje:
  - Privatnost
  - Integritet
  - Proveru identita
  - Neporecivost.
- IPSec implementira sigurnosne mehanizme mrežne komunikacije na mrežnom sloju OSI referentnog modela (Internet sloj TCP/IP skupa).
  - Upotreba IPSec protokola transparentna je za više slojeve skupa protokola TCP/IP.
  - To znači da aplikacije koriste ove usluge bez obzira na svoju funkcionalnost.
- Primena: povezivanje udaljenih ogranaka firme sa centralom sigurnom vezom preko javnih (nesigurnih) mreža, siguran pristup sa udaljenih lokacija preko javne mreže …

IPSec

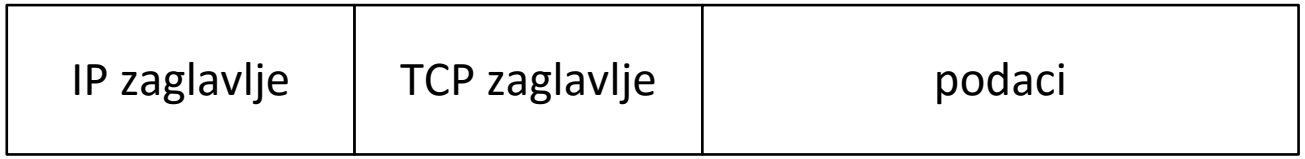

Aplikacioni
Prezentacioni
Sesija
Transportni
Mrežni
Veza
Fizički
ISO OSI
Aplikacioni
Transportni
Internet
Pristup mreži
TCP/IP
HTTP, FTP, SMTP,
POP, DNS, DHCP,
...
TCP, UDP
ICMP IP ARP
PPP, Ethernet
Protokoli
IPSec

IPSec režimi rada

- **Prenosni režim** (*transport mode*).
  - Šifruju se samo podaci a IP zaglavlja ostaju u obliku otvorenog teksta.
  - Zaglavlja viših slojeva (na primer, sloja aplikacije) su šifrovana.
  - Potrebno je da obe krajnje tačke komunikacije (izvor i odredište) podržavaju IPSec.
  - U ovom načinu rada adrese izvorišta i odredišta poruka su vidljive (napadač može delimično da analizira mrežni saobraćaj).
- **Tunelovanje** (*tunnel mode*).
  - Potpuno siguran prenos preko javnih ili privatnih mreža.
  - Tunel = klijent + server (koji su konfigurisani da koriste IPSec tunelovanje).
  - Enkapsulacija i šifrovanje kompletnih IP paketa.
    - Šifrovani podaci se spajaju sa odgovarajućim nešifrovanim IP zaglavljima.
    - Formiraju se IP paketi koji se na kraju tunela dešifuju i oblikuju u IP pakete namenjene krajnjem odredištu.

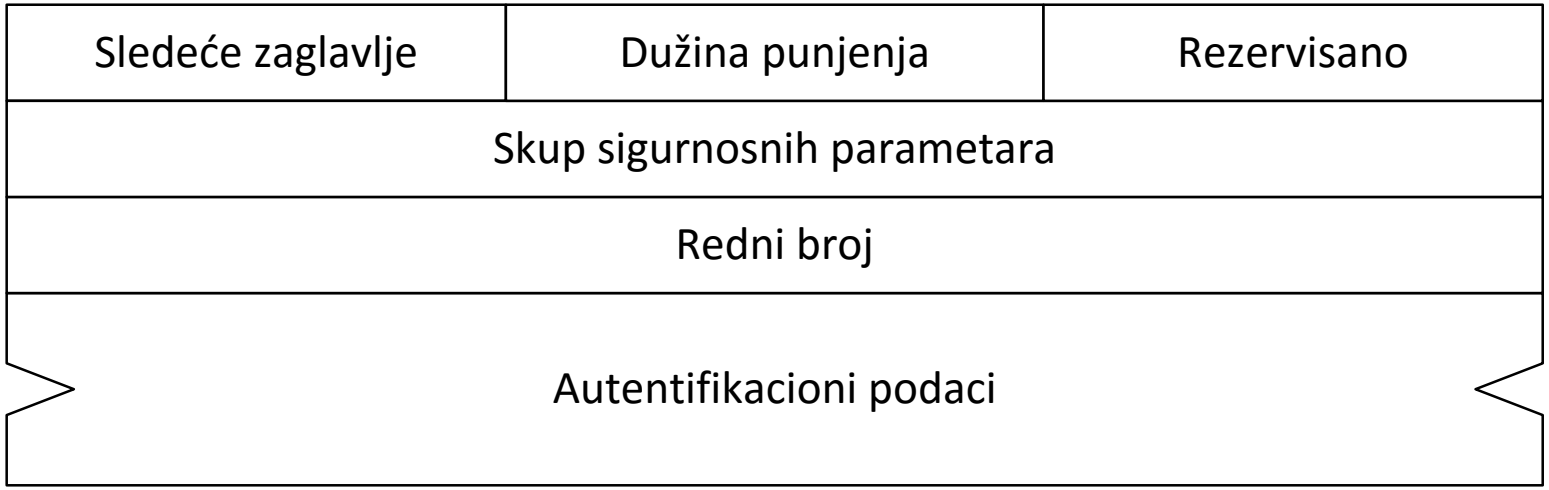
IPSec protokoli

- IPSec se implementira pomoću dva međusobno nezavisna protokola.
- **AH** (*authentication header*) obezbeđuje usluge:
  - Integriteta
  - Provere identiteta
  - Neporecivosti.
- **ESP** (*encapsulated security payload*) osim toga obezbeđuje i privatnost podataka.
- Oba protokola, AH i ESP, modifikuju standardni oblik IP paketa.



Protokol AH

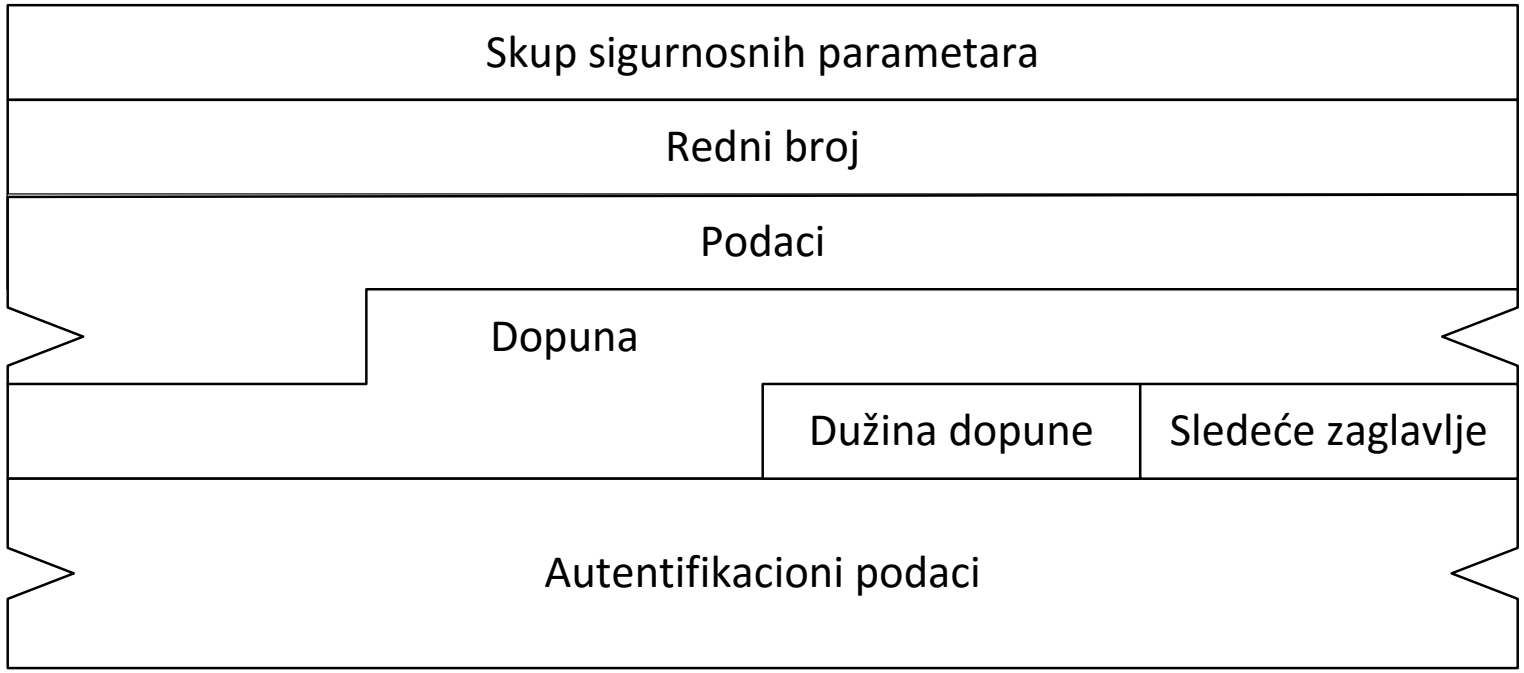
- Obezbeđuje usluge provere identiteta, integriteta i neporecivosti IP paketa ali ne i privatnost.
- Protokolom je definisano zaglavlje koje se smešta između IP zaglavlja i podataka koji slede.
- Specifičnost AH je u tome što ne enkapsulira podatke protokola kojima pruža uslugu.



AH zaglavlje

Protokol ESP

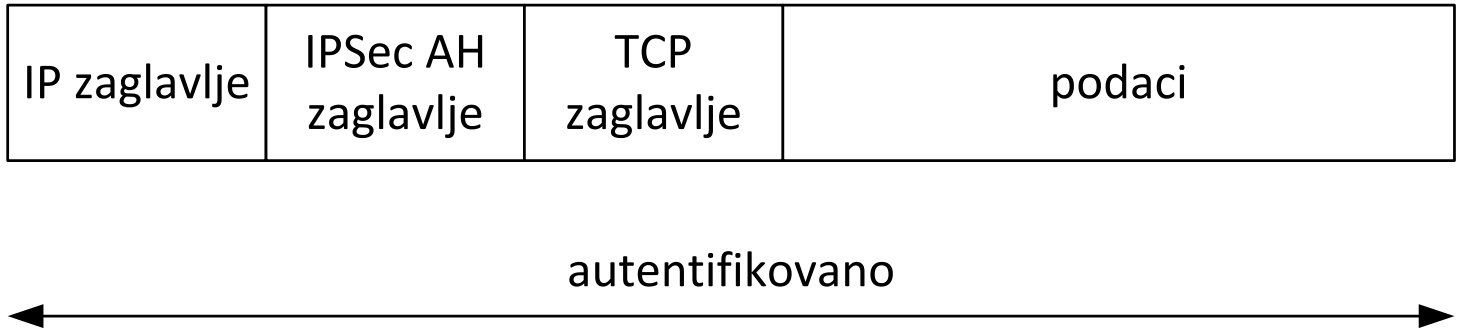
- Obezbeđuje usluge provere identiteta, integriteta, neporecivosti i privatnosti podataka.
- Definiše ESP zaglavlje koje se u IP paket smešta posle IP zaglavlja, enkapsulira sve podatke protokola višeg sloja i dodaje završni slog u koji se mogu smestiti podaci za proveru identiteta.



ESP paket

AH u transportnom režimu rada

- Polje „protokol“ u IP zaglavlju sadrži vrednost 51 (AH).
- Polje „sledeće zaglavlje“ u AH zaglavlju sadrži vrednost koja odgovara protokolu višeg sloja čiji su podaci enkapsulirani (na primer, 6 za TCP segment).
- Obezbeđuje se provera identiteta, integritet i neporecivost celog IP paketa.

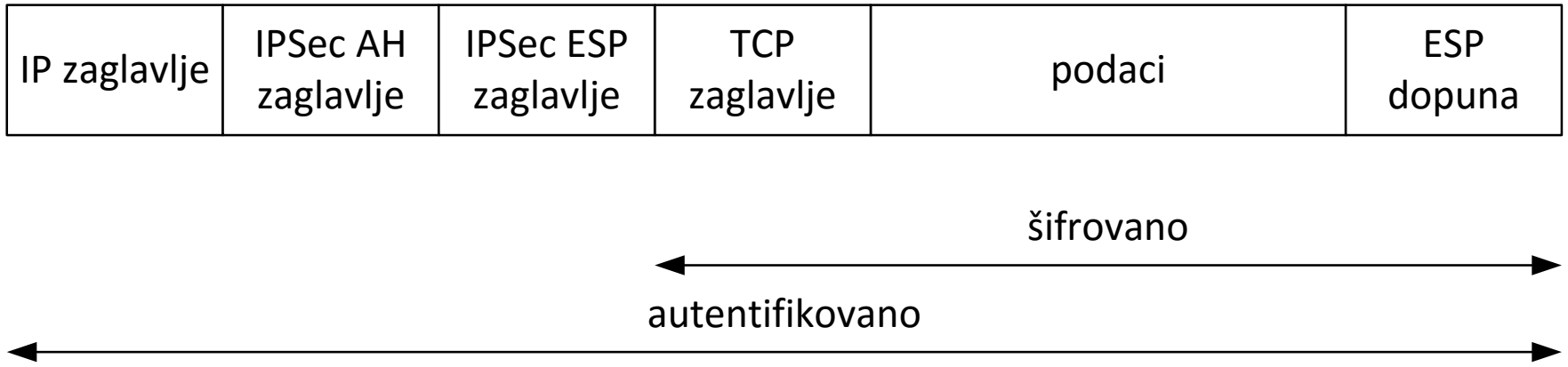


ESP u transportnom režimu rada

- Polje „protokol“ u IP zaglavlju sadrži vrednost 50 (ESP).
- Polje „sledeće zaglavlje“ u ESP zaglavlju ima funkciju istu kao i u AH zaglavlju.
- Ukoliko je u skupu sigurnosnih parametara specificirana i provera identiteta dodaje se polje „podaci za proveru identiteta“.
- Obezbeđuje se integritet, proveru identiteta, neporecivost i privatnost podataka.

ESP + AH u transportnom režimu rada

- Polje „protokol“ u IP ima vrednost 51 (AH).
- AH zaglavlje, polje „sledeće zaglavlje“ sadrži vrednost 50 (ESP).
- ESP zaglavlje, polje „sledeće zaglavlje“ sadrži vrednost koja označava protokol višeg sloja.
- AH obezbeđuje integritet, proveru identiteta i neporecivost celog IP paketa.
- ESP obezbeđuje privatnost podataka, i opciono integritet, proveru identiteta i neporecivost podataka i ESP zaglavlja.



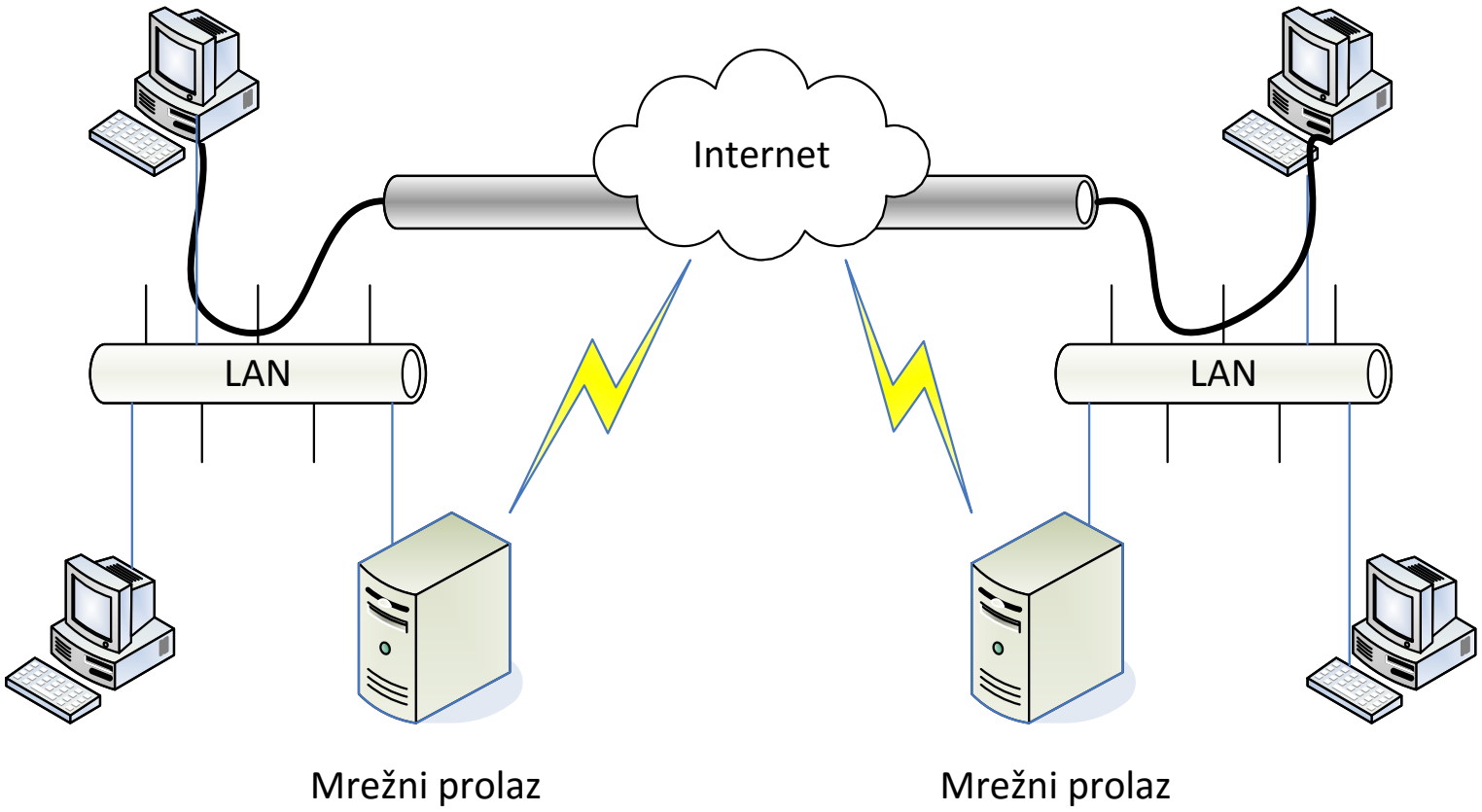
Tunelovanje

- IPSec služi za uspostavljenje sigurne komunikacije između **mrežnih prolaza** (*gateway*) na udaljenim mrežama (*gateway-to-gateway*).
- Time se uspostavlja **VPN mreža** (*Virtual Private Network*) između udaljenih lokacija.
  - Krajnji entiteti u komunikaciji ne moraju da podržavaju IPSec.
  - Za njih je komunikacija transparentna jer sve operacije obavljaju mrežni prolazi.
  - Mrežni prolazi predstavljaju krajnje tačke sigurnog komunikacionog kanala.
  - Oni formiraju siguran tunel kroz nesiguran medijum (Internet).
- Tunelski način rada moguć je i u komunikaciji računar-računar ili računar-mrežni prolaz.
  - Tada krajnji entiteti (odnosno entitet) moraju podržavati IPSec.

Tunelovanje

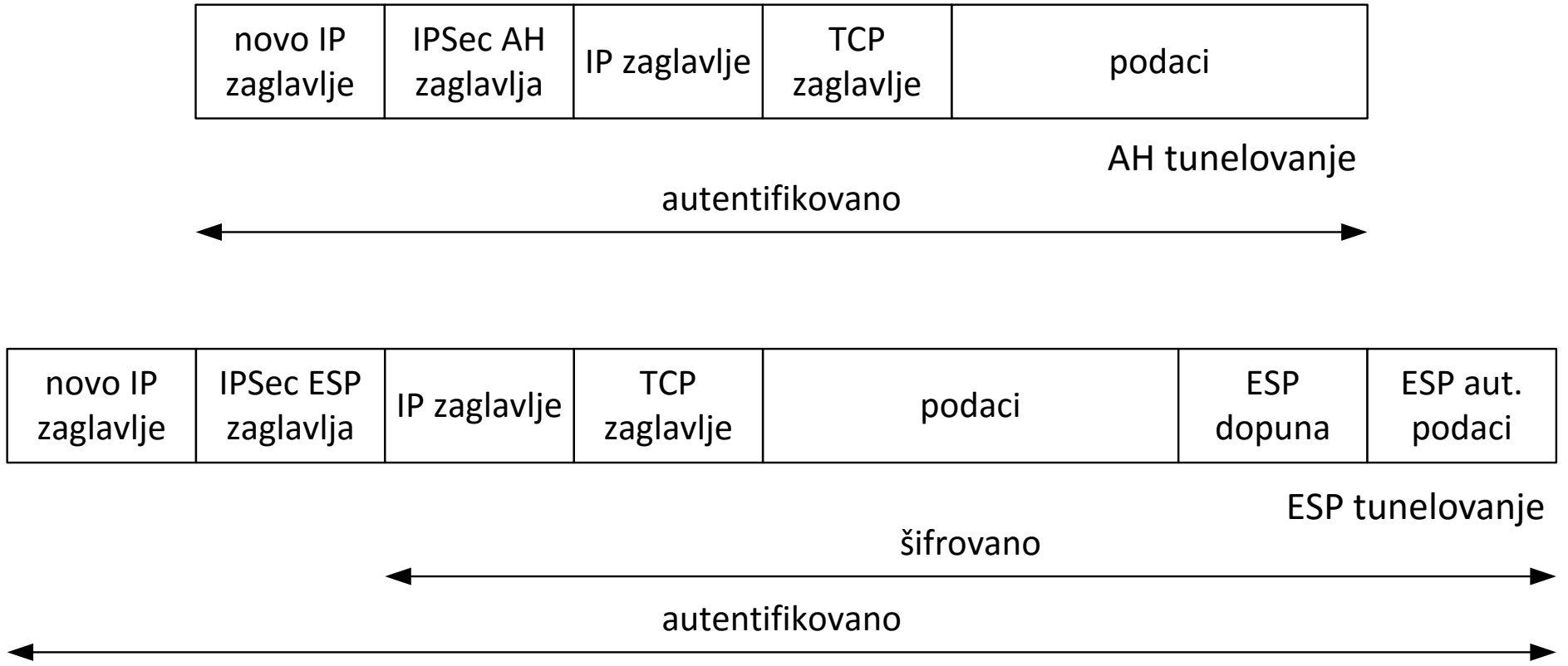
- Pri tuneliovanju se formira nov IP paket koji **enkapsulira kompletan originalni IP paket**.
- Dva entiteta komuniciraju na sledeći način:
  - Pošiljalac formira IP paket i šalje ga preko lokalne mreže lokalnom mrežnom prolazu.
  - Mrežni prolaz enkapsulira originalni IP paket u nov paket i formira odgovarajuća AH, odnosno ESP zaglavlja.
  - Paket se šalje preko uspostavljenog tunela do mrežnog prolaza na udaljenoj mreži.
  - Drugi mrežni prolaz uklanja dodatna zaglavlja, po potrebi dešifruje paket i provera njegov integritet.
  - Originalni IP paket se isporučuje odredištu.

Tunelovanje



AH i ESP u režimu tunelovanja

- NAPOMENA: kombinacija AH i ESP u tunelskom režimu rada nije predviđena.



Uspostavljanje IPSec komunikacije

- IPSec ne sadrži mehanizam za uspostavljanje komunikacije i ne specificira konkretne kriptografske algoritame koji će se koristiti u IPSec komunikaciji.
- Neophodno je da entiteti koji žele da komunikaciju pomoću IPSec protokola dogovore skup sigurnosnih parametara komunikacije (***Security Association***, **SA**):
  - Kriptografske metode koje će se koristiti
  - Način provere identiteta strana u komunikaciji
  - Razmena kriptografskih ključeva potrebnih za tako dogovorenu komunikaciju.
- Postoji nekoliko načina za uspostavljanje IPSec komunikacije:
  - Teoretski je moguće ručno podešavanje skupa sigurnosnih parametara (neprihvatljivo!)
  - **ISAKMP** (*Internet Security Association and Key Management Protocol*)
  - **IKE** (*Internet Key Exchange*).
    - Implementiran kombinovanjem postojećih protokola: ISAKMP, Oakley i SKEME.
    - Sastoji se od dve osnovne faze:
    - Uspostavljanja IKE SA skupa sigurnosnih parametara.
    - Uspostavljanja IPSec SA skupa sigurnosnih parametara korišćenjem IKE SA.

Literatura

1. D. Pleskonjić, N. Maček, B. Đorđević, M. Carić (2007): Sigurnost računarskih sistema i mreža. Mikro knjiga, Beograd.
2. M. Stamp (2006): Information Security. John Wiley and Sons.

Hvala na pažnji

Pitanja su dobrodošla.