Operační systémy a sítě

Petr Štěpán, K13133

KN-E-229

stepan@labe.felk.cvut.cz

Téma 12.

DNS, VPN, NAT a firewally

Domain Name System (DNS)

- Uživatelé preferují symbolická jména strojů
  - oproti číselným adresám
  - Nutno zajistit mapování ***jméno_stroje <=> číselná_adresa***
- Internet používá
  - hierarchický prostor jmen (*namespace*)
  - nezávislý na topologii sítí
  - Citát: *V TCP/IP Internetu jsou hierarchicky členěná jména strojů přiřazována podle struktury organizací, které mají oprávnění nakládat s částmi prostoru jmen, nikoli však nutně podle způsobu propojení fyzických sítí.*
- Flexibilní hierarchie jmen
  - symbolická jména strojů – doménová jména (*domain name*)
  - celosvětově jednotná syntaxe
  - hierarchie vyznačena oddělovačem '.'
  - např. cyber.felk.cvut.cz
    - vše, co následuje za první '.' se obvykle nazývá doména
    - poslední úsek ('cz') je tzv. doména 1. řádu nebo vrcholová doména (*top-level domain* = TLD)

Základní TLD

- Původní historicky vzniklé v USA a Kanadě
  - stále užívané

com	Komerční organizace (commertial)
edu	Vzdělávací instituce (educational)
gov	Vládní jednotky (government)
mil	Vojenské užití (military)
int	Mezinárodní organizace (international)
org	Původně neziskové organizace
net	Organizace sítě (network) – v současnosti i širší užití
arpa	Historická doména, nyní používaná pro tzv. „reverzní rezoluci" ➔

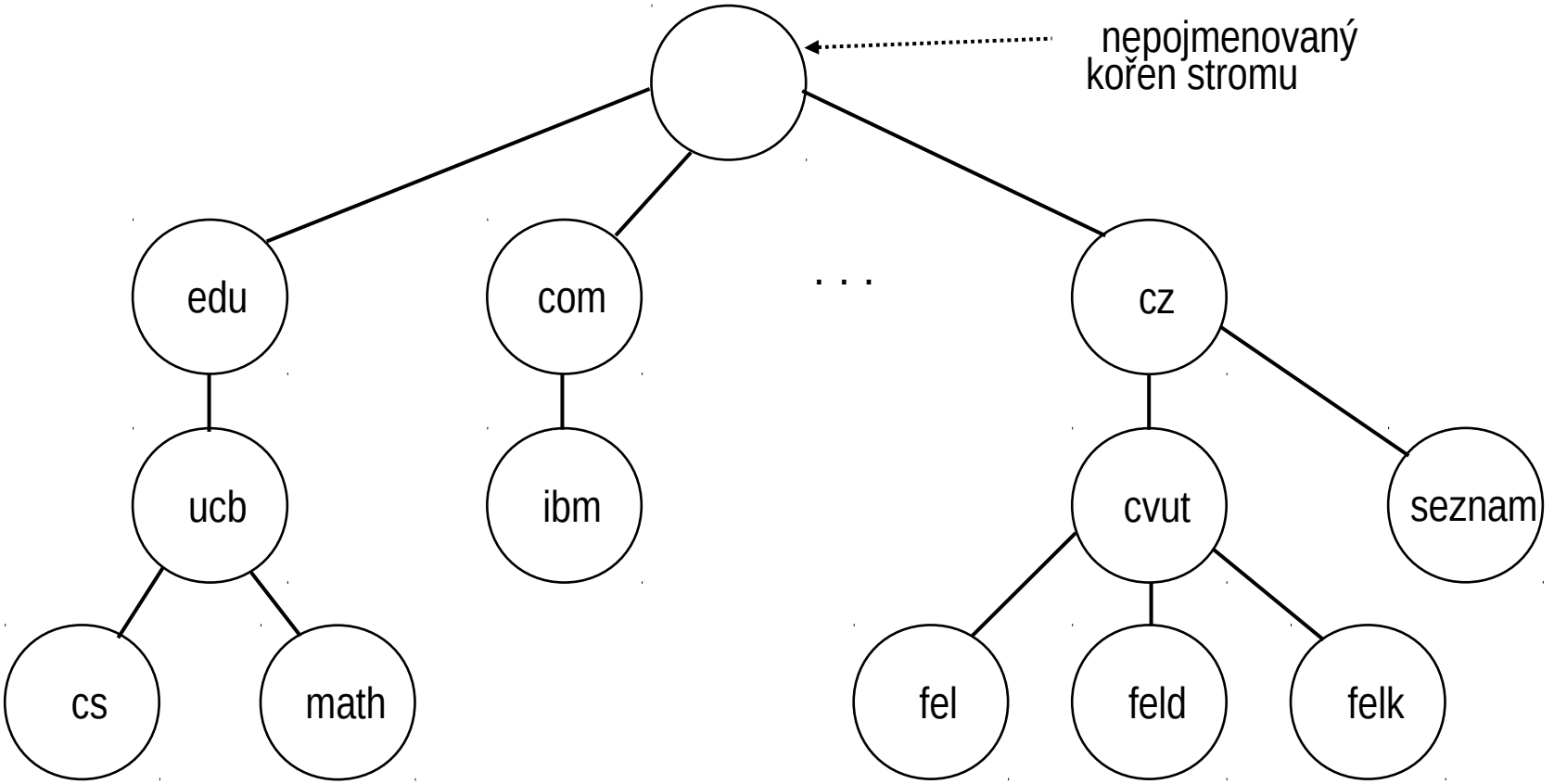
Geografické členění podle států – dvoupísmenné kódy

národní kód				
	cz	Česko	uk	Velká Británie
	de	Německo	at	Rakousko
	us	USA (málo užívané)	cn	Kontinentální Čína

- Přidělování domén 2. řádu je svěřeno národním autoritám
  - V ČR je to CZ-NIC

  - V některých zemích jsou domény 2. řádu účelově orientované
    - Např. co.uk (britské komerční domény) ac.uk (akademické instituce)

Hierarchie DNS



- Autorizace a správa jmen ve směru hierarchie
  - Např. cvut se registruje u správce TLD cz a spravuje cvut.cz
  - Správci sítě FEL na Karlově náměstí registrují felk u správců cvut.cz a jsou autorizováni přidělovat jména v doméně felk.cvut.cz

Databáze domén a doménových jmen

- Celosvětová hierarchicky organizovaná distribuovaná databáze
  - Záznamy jsou trojice (jméno, třída, obsah)
    - Třída označuje typ objektu, který záznam popisuje
    - Např. "stroj", "poštovní server" (*mail exchanger*) atd.
  - Důsledek: *Jedno jméno může označovat více různých objektů. Klient, který chce získat informaci z databáze, uvádí i typ požadovaného objektu.*
- Terminologie:
  - Servery DNS se označují jako jmenné servery (*name servers*)
  - DNS software na klientských strojích se nazývá rezolver (*resolver*)
- DNS používá množinu on-line serverů ve stromové struktuře
  - Daný server může obhospodařovat celý podstrom nebo jen jednu či několik vrstev
  - Např. kořenový server má informace o všech TLD a jejich jmenných serverech

Základní typy DNS záznamů

Typ	Pojmenování	Obsah záznamu
SOA	Start of Authority	Sada polí určujících, kterou část lokální hierarchie „tento" server implementuje
A	Host Address	32-bitová IP adresa
CNAME	Canonical Name	Kanonické doménové jméno pro "přezdívku" (alias)
NS	Name Server	Jméno autoritativního serveru „této" domény
MX	Mail Exchanger	16-bitové preferenční číslo a jméno stroje, který pracuje jako hlavní mail server pro „tuto" doménu
PTR	Pointer	Doménové jméno pro tzv. inverzní rezoluci
AAAA	Host Address	128-bitová IPv6 adresa

- Ukázka jednoduché konfigurace jmenného serveru

```
$ORIGIN firma.cz.
$TTL    12h
@               SOA  ns.domena.cz. spravce.mail.domena.cz.  (
                  2011090801 ; Serial
                  3h         ; Slave refresh (3 hours)
                  1h         ; Slave retry time in case of a problem (1 h)
                  2h         ; Slave expiration time (2 days)
                  3600       ; Maximum caching time of failed lookups (1 h)
                )
firma.cz.       NS          ns.firma.cz.
firma.cz.       NS          ns2.iol.cz.
firma.cz.       MX            0 mail.firma.cz.
firma.cz.       MX          100 relay.iol.cz.

ns              A     190.18.113.16
mail            A     190.18.113.16
www             A     190.18.113.14
extern-site     A     147.120.198.155
```

Řešení úlohy hledání doménových jmen

- Je nutno hledat doménová jména od kořene stromu?
- V praxi
  - Vyhledávání začíná u lokálního jmenného serveru
    - Každý stroj v lokální síti musí znát jeho adresu
  - Lokální server se bude obracet na kořenový server jen zcela výjimečně
  - Bude se obracet na svůj nadřazený server
    - Např. lokální server na Karlově náměstí ns.felk.cvut.cz se bude obracet na ns.cvut.cz
    - Rekurzivní postup "směrem nahoru"
- Problém efektivity
  - Fakta:
    - nejčastější dotazy jsou lokální
    - pár [jméno – adresa] se mění zřídkakdy
    - dotazy se často opakují
  - Řešení:
    - Každý server si pamatuje (v cache) odpovědi, které získal od nadřazených serverů
    - Dobu platnosti pamatovaného údaje (TTL) udává zdrojový server, který opravdu drží původní datový záznam (tzv. autoritativní server)

Zkracování doménových jmen při hledání

- DNS pracuje s úplnými doménovými jmény
  - Např. cyber.felk.cvut.cz
- Rezolver však umožní hledaná jména zkracovat
  - např. na lokálním stroji je nastaveno přednostní vyhledávání v doménách
    - .felk.cvut.cz, .fel.cvut.cz, .cvut.cz
  - Zadá-li uživatel (nebo jeho aplikace) jméno pouze jako www, zajistí rezolver posloupnost dotazů (v tomto pořadí)
    - www.felk.cvut.cz, www.fel.cvut.cz, www.cvut.cz

    a první pozitivní odpověď považuje za správnou (www.fel.cvut.cz)
- DNS umí mapovat jen úplná doménová jména na adresy
  - Zkratky jsou k dispozici pouze díky lokálním rezolverům z důvodů většího uživatelského pohodlí.

```
C:\> ipconfig /all
Windows IP Configuration
        Host Name . . . . . . . . : zubrina
        Primary DNS Suffix  . . . : felk.cvut.cz
        DNS Suffix Search List. . : felk.cvut.cz
                                    fel.cvut.cz
Ethernet adapter Ethernet:
        Physical Address. . . . . : 00-1A-A0-CF-6F-77
        IP Address. . . . . . . . : 147.32.85.46
        Subnet Mask . . . . . . . : 255.255.255.128
        Default Gateway . . . . . : 147.32.85.1
        DNS Servers . . . . . . . : 147.32.80.9, 147.32.1.20
```

Reverzní rezoluce

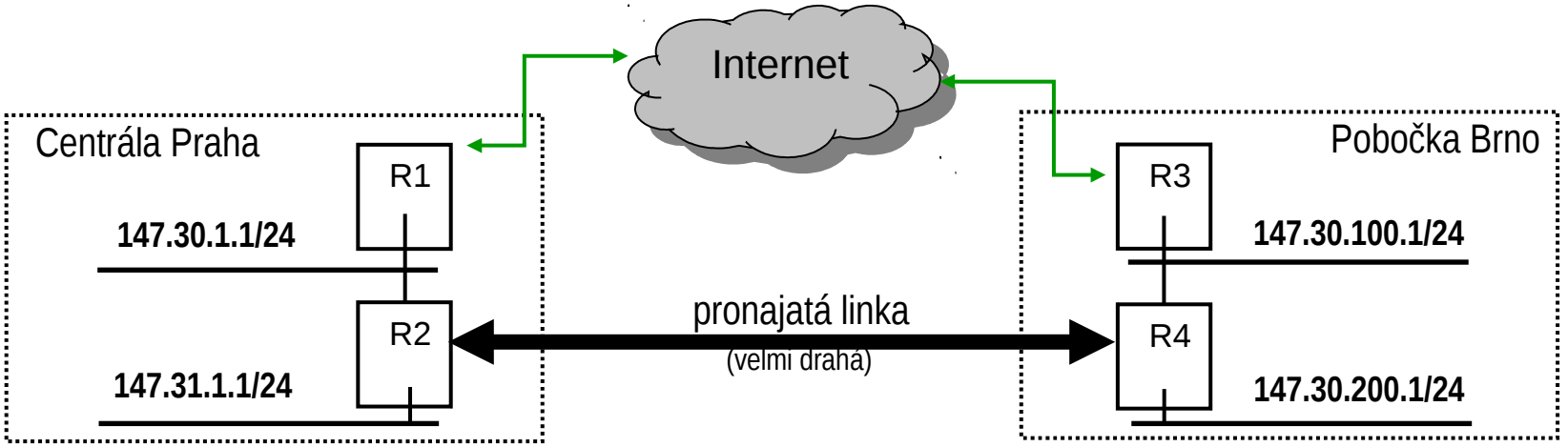
- Přímá rezoluce: doménové_jméno → IP_adresa
- Reverzní rezoluce: IP_adresa → doménové_jméno
  - Nemusí být jednoznačné
    - Více doménových jmen se může mapovat na jednu adresu
  - Poměrně neefektivní, avšak mnohdy potřebné
    - Např. anti-spam
  - Používají se PTR záznamy
- Trik realizovaný lokálním rezolverem
  - Zapiš adresu formálně jako jméno stroje a zeptej se na ně
  - Nechť IP adresa je *aaa.bbb.ccc.ddd*
  - Vytvoř dotaz na *ddd.ccc.bbb.aaa.in-addr.arpa*
    - Využití historické TLD *arpa* ←
  - Uděsli name-server, dotaz na objekt typu PTR s

Reálný DNS systém

- Ukázali jsme jen princip DNS
- Skutečná implementace je výrazně složitější
  - požadavky na spolehlivost a efektivitu
- Realizace
  - Kořenových serverů je celá řada (spolehlivost, dostupnost)
    - Vzájemně si replikují informace o TLD serverech a "delegování" jejich autority
  - Primární a sekundární name-servery
    - Primární name-server je ten, který drží primární databázi informací o doméně
    - Sekundární server čas od času kopíruje obsah primárního serveru a zajišťuje autoritativní odpovědi, není-li primární server dostupný
  - "Caching-only" servery
    - Lokální doména (malá organizace) nemá svůj vlastní name-server
      - Ten je např. u poskytovatele připojení
    - Provozuje ale "caching-only" server, který nemá svoji vlastní databázi. Všechny dotazy přeposílá nadřazenému name-serveru, avšak jeho odpovědi si pamatuje a po dobu TTL dotazy vyřizuje lokálně
  - DDNS (Dynamické DNS)
    - Umožňuje mobilním strojům dynamicky registrovat svoje stabilní doménové jméno u poskytovatele připojení nebo u **`dyndns.org`**
      - Zatím málo rozšířené, zřídkakdy implementováno na klientské straně

Virtuální privátní sítě

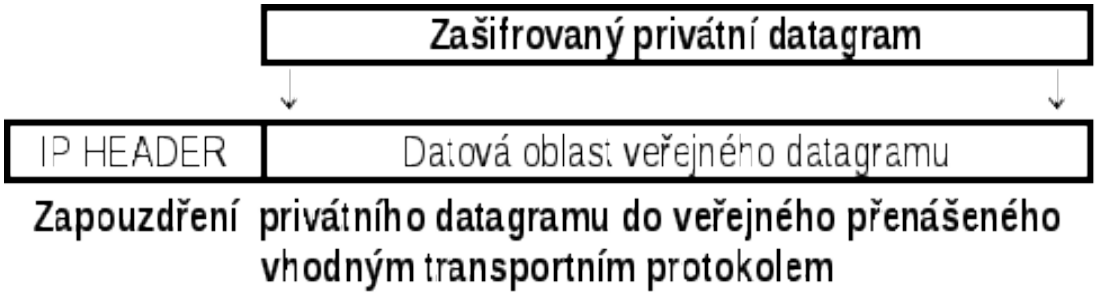
- Hybridní architektura organizace firma.cz



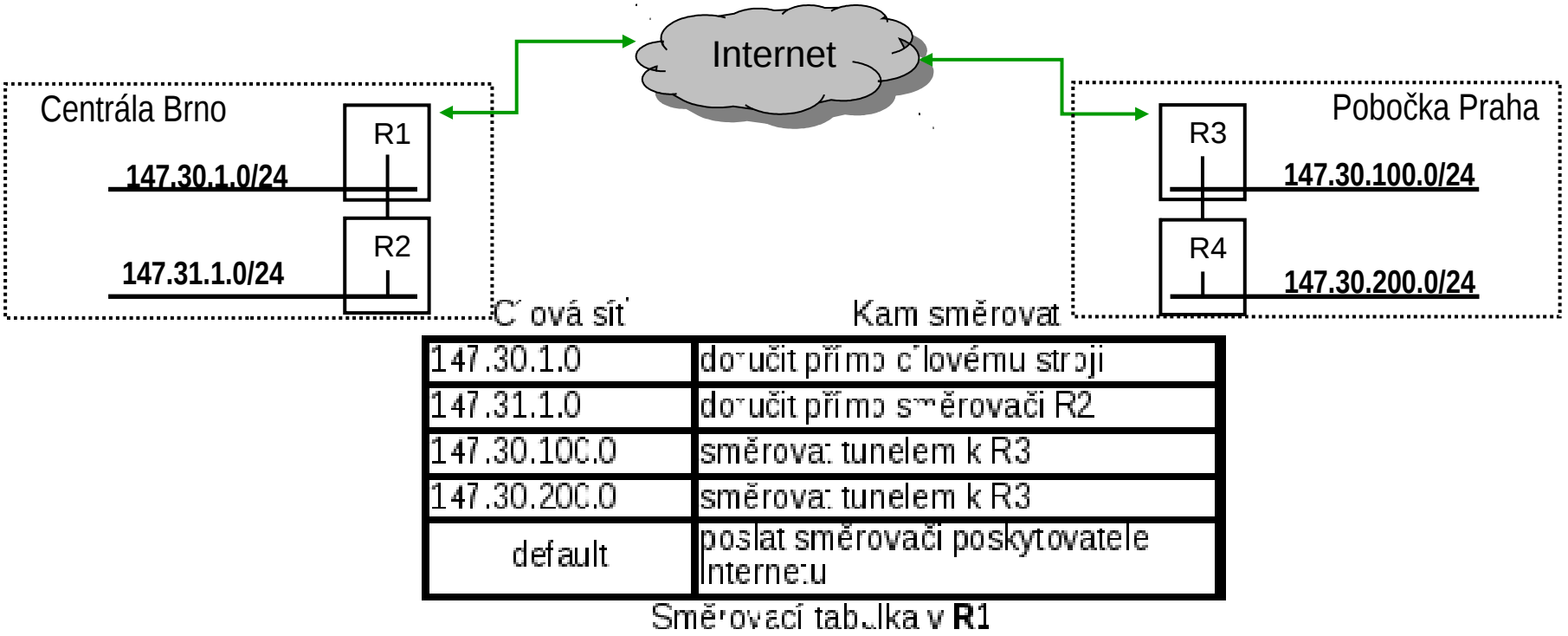
- Jak vytvořit bezpečný "intranet" bez nákladné pronajaté linky?
  - Odpověď: Použít VIRTUÁLNÍ privátní síť (VPN)
  - VPN kombinuje bezpečnost a ochranu citlivých dat s relativně nízkou cenou přístupu na veřejný Internet
- Princip tvorby VPN
  - Připojit všechna pracoviště na globální Internet
  - Ochránit data přenášená po veřejné síti
    - Zašifrovat data
    - Přenášet data tzv. IP tunelem

Princip vytváření IP tunelů

- Základem je využití principu zapouzdřování (*encapsulation*)



-
- Adresace a směrování při využití VPN



Cílová síť	Kam směrovat
147.30.1.0	doručit přímo cílovému stroji
147.31.1.0	doručit přímo směrovači R2
147.30.100.0	směrovat tunelem k R3
147.30.200.0	směrovat tunelem k R3
default	poslat směrovači poskytovatele Internetu

Směrovací tabulka v **R1**

Možné typy VPN

- VPN lze realizovat na různých úrovních ISO-OSI modelu
- L2 VPN
  - Spoje, které "tunelují" data spojové (linkové) vrstvy
    - Někdy označováno jako "virtuální drát" (pseudo-wire)
  - Vytvářejí tak "virtuální LAN"
  - Např. do datové oblasti veřejného datagramu se uloží (třeba i zašifrovaný) ethernetový rámec
    - Na přijímací straně se vyjme a použije se jako lokálně vzniklý fyzický rámec, který může nést i fyzický "broadcast" např. pro ARP
- L3 VPN
  - Spoje zajišťující přenos "privátních IP datagramů"
  - Často realizovány jako spoje mezi dvěma stroji (point-to-point)
    - To ovšem neznamená, že na koncích spoje nemohou stát směrovače zajišťující univerzálnější logické propojení
  - Efektivnější než L2 VPN, avšak obvykle bez možnosti "*LAN broadcast*"
    - Některé síťové služby jsou závislé na této metodě, např. *Server Message Block* (SMB) protokol, který Microsoft používá pro NetBIOS sítě Windows potřebuje "*LAN broadcast*"

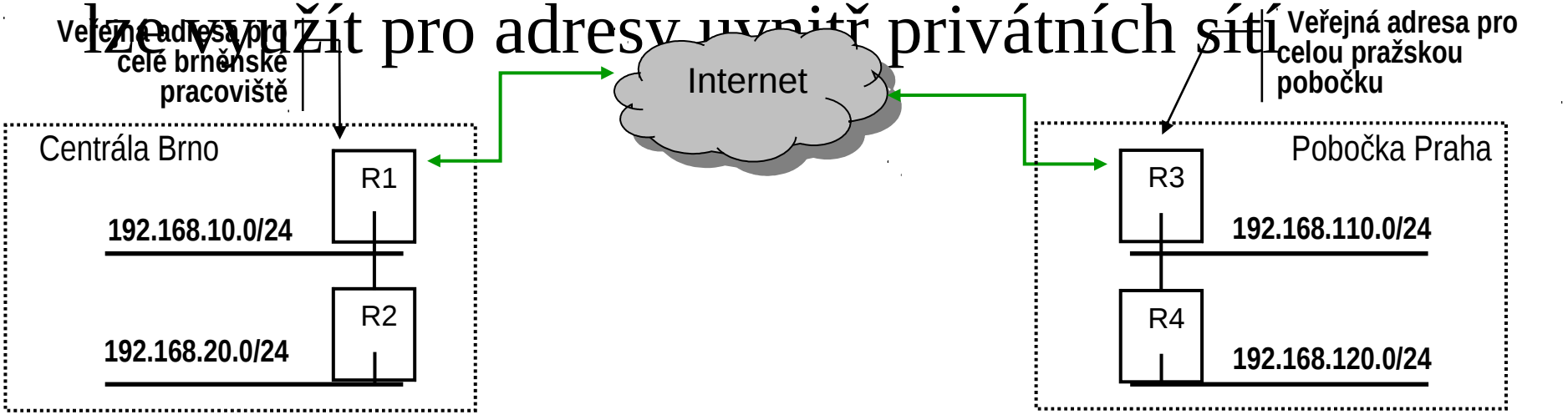
Rozšířené implementace VPN

- Komerční VPN
  - Nejčastější jsou produkty fy Cisco a jejích subdodavatelů používající často vlastní („proprietární“) protokoly
    - Některé z nich přešly časem v obecné standardy
- Oblíbené VPN
  - OpenVPN
    - Volně šiřitelná "open source" implementace umožňující realizaci L3 i L2 VPN
    - Je k dispozici pro širokou škálu OS (Windows, Linux/Unix, existuje i klon pro Android, atd.)
    - Integruje směrovače na obou koncích spoje, používá šifrované přenosy na bázi SSL/TLS (*Secure Socket Layer / Transport Level Security*)
    - Transportním protokolem může být UDP i TCP
  - Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP)
    - Součástí MS Windows pod krycím názvem "*Dial-up Networking*" neboli RAS (*Remote Access Service*)
    - Transportní vrstvou je TCP
    - PPTP není standardizován internetovou IETF autoritou, a tak existuje řada implementací, které nejsou vzájemně plně kompatibilní
    - Vedle Windows je k dispozici na Linuxech (*PoPToP*), BSD Unixech (*pppd*, *mpd* na *FreeBSD*), na Mac OS i v iPad, iPod a iPhone

Šetření IP adresami

- V našem příkladu VPN se používaly lokální sítě IP adresy z veřejného adresního prostoru
  - je to zbytečné a dokonce částečně i nebezpečné
  - Privátní adresní rozsahy
    - 10.0.0.0 – 10.255.255.255
    - 172.16.0.0 – 172.31.255.255
    - 192.168.0.0 - 192.168.255.255

lze využít pro adresy uvnitř privátních sítí



- Směrovače R1 a R3 však musí zajistit i tzv. překlad adres

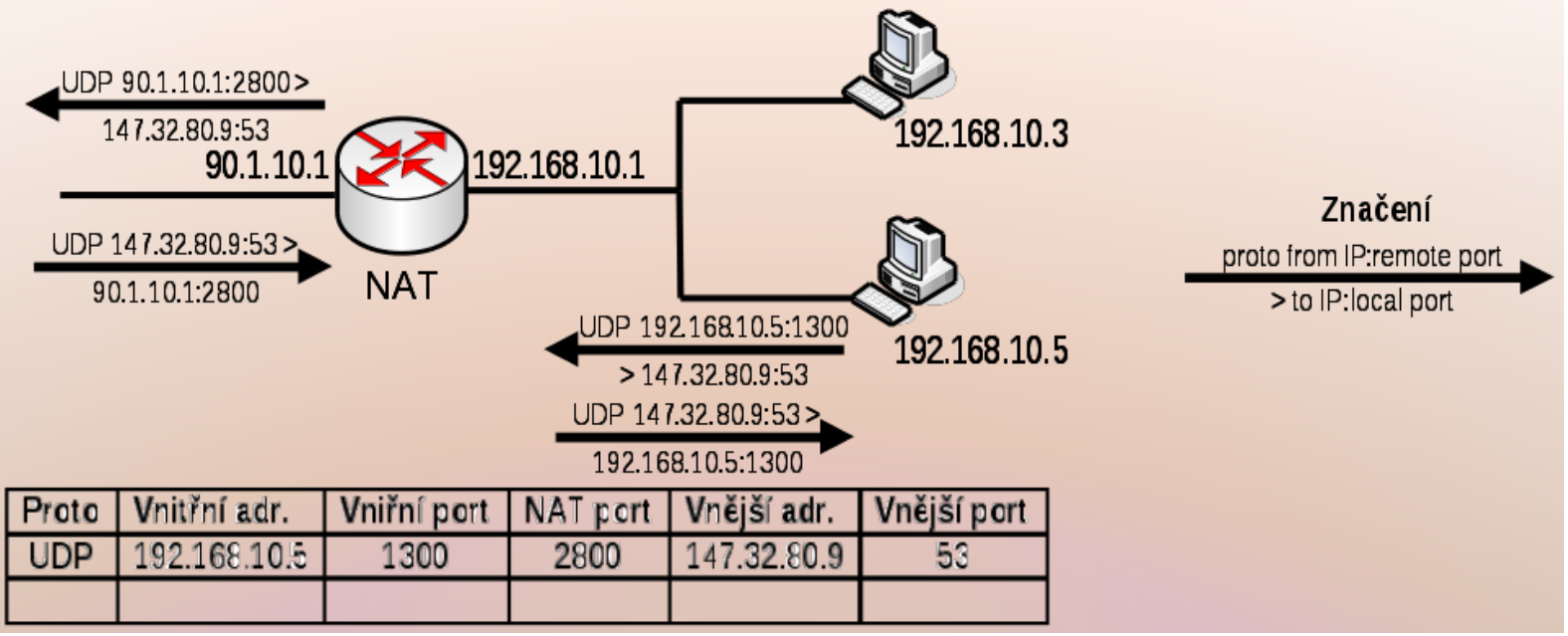
Privátní adresy a jejich překlad

- Úloha:
  - Jak lze na pracovišti s mnoha počítači zajistit přístup k veřejnému Internetu, aniž by jednotlivé stroje měly globálně platné IP adresy?
  - Řešení: Překlad privátních adres na veřejné (*Network Address Translation* = NAT)
- Požadavky na NAT
  - Překlad musí zajistit IP přístup mnoha strojů s užitím jediné veřejné IP adresy
  - Překlad musí být zcela transparentní pro obě komunikující strany
  - Implementace
    - Obvykle softwarové (nebo firmwarové) řešení
    - Nejčastěji implementováno přímo ve směrovači (*routeru*)
    - Výjimečně speciální hardware, jsou-li extrémní požadavky na rychlost
  - Detaily viz RFC 2663

Princip NAT

- NAT upravuje záhlaví IP datagramů
  - Uzel realizující NAT má k dispozici jednu veřejnou adresu a řadu adres privátních
  - U odchozích datagramů zamění zdrojovou privátní adresu za "svoji" veřejnou
  - U příchozích datagramů naopak cílovou adresu (ta je u příchozího datagramu veřejná) adresou privátní
    - Ale kterou z mnoha lokálních privátních adres?
  - Přesný způsob překladu je závislý na použitém IP protokolu, který je datagramem nesen
    - U UDP a TCP se překlad opírá o porty, u ICMP je to podstatně složitější
- Překladová tabulka
  - Dynamicky vytvářená tabulka
  - Položky se vytvářejí, když datagram odchází. Zaznamená se lokální (privátní) adresa odesilatele, cílová (vzdálená) adresa a u UDP a TCP se zaznamená lokální port, který se u odchozího datagramu změní
  - Při příchodu odpovědi se vyhledá v tabulce uložená vzdálená adresa a port, z čehož se odvodí lokální stroj, jemuž odpověď patří a v tabulce se najde i původní lokální port

Překladová tabulka NAT



Proto	Vnitřní adr.	Vnitřní port	NAT port	Vnější adr.	Vnější port
UDP	192.168.10.5	1300	2800	147.32.80.9	53

- NAT analyzuje odchozí datagram
  - Zapamatuje si nesený protokol, adresu a port odesilatele datagramu a cílovou adresu a port
  - V hlavičce datagramu přepíše zdrojovou adresu na svojí veřejnou adresou a "vymyslí si" (a zapamatuje) "nový" zdrojový port
  - Datagram odešle cílovému stroji
- Odpověď přijde na veřejnou adresu NATu a "nový" port
  - V překladové tabulce NAT tabulce vyhledá u příslušného protokolu pár (vnější adresa, "nový" port), čímž najde odpovídající vnitřní (privátní) adresu a příslušný port. Upravený datagram pošle stroji na privátní síti.
- Protože se přepisují nejen adresy, ale i porty, bývá takový systém někdy označován jako NAPT (*Network Address & Port Translation*)

Vlastnosti NAT

- Popsaný mechanismus funguje dobře, pokud
  - Komunikace je zahájena strojem v privátní síti
    - Pak lze založit záznam v překladové tabulce
  - Cílový stroj odpoví
    - Může se stát, že odchozí datagram nebo odpověď se ztratí
    - Ztratí-li se odchozí datagram, přijde zpět ICMP zpráva, např. "Destination unreachable". Naštěstí tyto zprávy nesou kopii záhlaví a počátek datové části ztraceného datagramu, takže tyto informace lze využít k vyhledání záznamu v tabulce
      - Informaci o ztrátě datagramu se musí dovědět původní odesilatel!
    - Ztratí-li se odpověď, musí se využít vhodného časové prodlevy k vymazání záznamu z tabulky
  - Situace je poměrně jednoduchá u TCP, kdy v

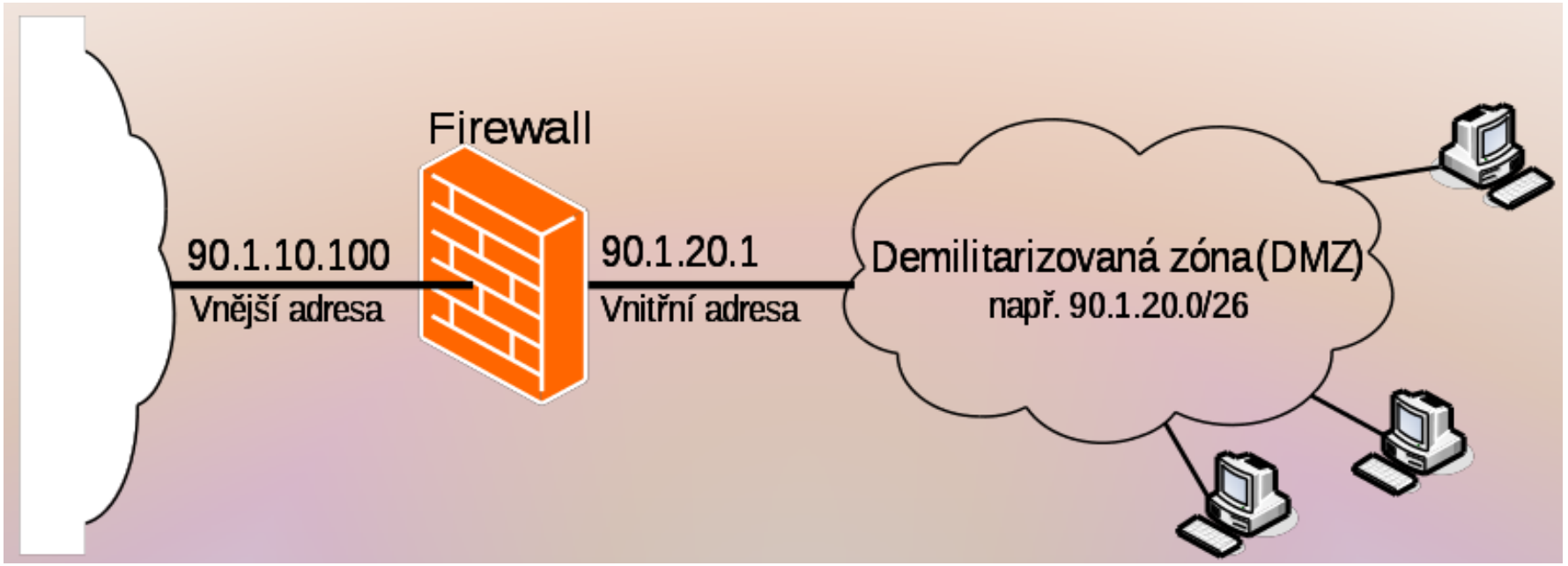
Problémy s NAT

- Problémy jsou
  - s ICMP protokolem, který nemá porty
    - Většinou však ICMP datagramy (např. "Echo request" a "Echo reply") nesou identifikátor použitelný k orientaci v překladové tabulce
  - Je-li za NATem veřejně dostupný server,
    - např. web server poslouchající na privátní adrese a veřejném portu 192.168.1.3:80

    pak se externí klient připojuje na veřejnou adresu NAT a daný port
    - V překladové tabulce pak bude statický záznam, který přesměruje příchozí TCP datagramy vedoucí na veřejný port (např. 80) na odpovídající privátní adresu (např. 192.168.1.3)
    - Problém je v tom, že takový server může být jen jediný; v tabulce nelze mít více záznamů s týmž cílovým portem
    - Mnohdy potřebujeme mít za NATem více např. webových serverů
      - např. měřicí přístroje s web rozhraním
    - Možnosti řešení jsou pak dvě:
      - Další servery nakonfigurovat tak, aby poslouchaly na nestandardním portu (např. 8080); serverům vestavěným v přístrojích však mnohdy nelze změnit port
      - Za hlavní web server (poslouchající na portu 80) zvolit univerzální server, který umí pracovat jako tzv. *web proxy*, který transparentně zprostředkuje

Firewally

- NAT analyzuje obsah datagramů
  - Proč totéž nevyužít obecněji?



- Firewall
  - Stroj, který odděluje chráněnou síť od "zbytku světa" a kontroluje (zakazuje či povoluje) přístupy
    - Zakázat lze nejen neoprávněné přístupy "dovnitř", ale lze blokovat i nedovolené přístupy ven
      - cenzura přístupu k nedovoleným serverům (často politická motivace – Čína, či etická – porno)

Typy firewallů

- Firewally jsou v principu tří typů
  1. Paketové filtry
  2. Aplikační brány
  3. Stavové paketové filtry (případně kombinované s detektory útoku)
- Paketové filtry
  - Nejjednodušší filtrující firewally (tzv. *stateless firewall*)
  - Pracují na principu analýzy záhlaví datagramů a rozhodují o přípustnosti průchodu firewallem na základě IP adres, protokolů, portů a dalších vlastností datagramů ➔
  - Příkladem je firewall **`ipfw`** ve starších verzích FreeBSD Unix
- Aplikační brány (též *Proxy firewally*)
  - Komunikace se dělí na dvě spojení
    - Vnější klient se obrací k firewallu s žádostí o službu (1. spojení); ten vytvoří nové spojení s vnitřním serverem poskytujícím žádanou službu (2. spojení)
    - Aplikační brána (firewall) přeposílá informace z jednoho spojení na druhé a na aplikační úrovni může dokonce kontrolovat přenášený obsah
      - Odtud název "aplikační brána" – viz dříve zmíněný *web proxy server*

Typy firewallů

- Stavové paketové filtry (*stateful firewall*)
  - Pracují podobně jako základní paketové filtry, avšak umožňují měnit a zapamatovávat si vnitřní stavy a realizovat tak konečný automat
    - Rozhodnutí o přípustnosti průchodu paketu je závislé nejen na paketu samotném ale též na "historii" zachycené ve stavových proměnných firewallu. Vznikají tak "dynamická pravidla" pro práci s pakety.
    - To přináší velké výhody zejména u "nespojových" protokolů (ICMP, UDP, ...)
  - Příkladem je firewall **`ipfw2`** v novějších verzích FreeBSD (FreeBSD 6 a výše) nebo **`iptables`** v Linuxu (v 2.4 a výše)
- Stavové paketové filtry s detekcí útoku
  - Integrují tzv. IDS (*Intrusion Detection System*)
  - Mohou např. detekovat následující situaci:
    - Spojení se "tváří", že jde o připojení k webovému serveru, avšak datová oblast TCP segmentu obsahuje příkazy či příznaky, které do **`http`** protokolu nepatří
  - Mnohdy se opírají o heuristické informace a různé signatury, takže pracují podobně jako antivirové programy

Pravidlové systémy paketových filtrů

- Paketové filtry rozhodují, co činit s přicházejícím paketem
  - Obvykle se opírají o soustavu pravidel ve tvaru
    1. podmínka → akce
    2. podmínka → akce
    ...
    N. podmínka → akce
  - Pravidla se vyhodnocují postupně. Jakmile je splněna příslušná podmínka, je přijato rozhodnutí a práce s posloupností pravidel končí
  - Celková efektivita jistě závisí na pořadí pravidel
- Akce paketového filtru
  - Základní obvyklé akce, o nichž se ve firewallu rozhoduje, jsou **`allow`** (propusť), **`deny`** (zakaž) a **`forward ip`** (přepošli na danou adresu)
- Podmínky akcí
  - Definují vlastnosti analyzovaných paketů
  - Soupis všech možných vlastností paketů je mimo naše možnosti – uvedeme jen několik ilustrativních příkladů

Pravidlové systémy paketových filtrů (2)

- Jako příklad uvedeme zápis pravidel pro `ipfw` (FreeBSD)
  - Předpokládejme, že DMZ je síť **`90.1.20.0/26`** a symbolicky ji označíme **`dmz`**
  - Zápis pravidel má tvar: **`akce podmínky modifikátory`**

`allow ip from dmz to dmz`
- dovolí neomezenou komunikaci uvnitř DMZ po libovolném IP protokolu

`allow tcp from any to any established`
- propustí všechny pakety navázaného TCP spojení. (Jak se pozná "navázané spojení"?) Bývá jako jedno z prvních pravidel kvůli efektivitě.

`deny ip from any to any`
- Poslední pravidlo, které zakazuje vše, co nebylo povoleno některým předchozím pravidlem.

`allow udp from dmz to ns.provider.cz 53`
`allow udp from ns.provider.cz 53 to dmz`
- Tato **dvojice** umožní komunikaci strojů na DMZ intranetu komunikovat s DNS serverem poskytovatele připojení (**`53`** je DNS port). "Stateless firewall" k tomu potřebuje dvě pravidla.

  - U "stateful" firewallu stačí jedno pravidlo

`allow udp from dmz to ns.provider.cz 53 keep-state`
- Toto pravidlo se "uchytí" při vzniku DNS dotazu "zevnitř". Modifikátor **`keep-state`** způsobí, že se vytvoří dynamické pravidlo povolující **obousměrný** průchod firewallem pro tentýž protokol a tutéž dvojici IP adres. Dynamické pravidlo se po chvíli (zpravidla za 5 s) samo zruší .

To je dnes vše.

Otázky?