

Ühenduse strateegiad

- Kanalkommutatsioon (circuit switching)
 - ühenduse ajaks eraldakse permanentne kanal (füüsiline või virtuaalne)
- Teadekommutatsioon (message switching)
 - terve teate edastamise ajaks luuakse ajutine ühendus
- Pakettkommutatsioon (packet switching)
 - suvalise pikkusega teated jagatakse piiratud pikkusega pakettideks. Iga paketi jaoks valitakse tee sõltumatult. Saabunud pakettidest pannakse kokku esialgne teade

Ühenduse strateegiad

- Kanalkommutatsioon vajab ressursse ühenduse loomisel ja lõpetamisel, aga iga teatega on seotud vähem lisakulu ning riba on garanteeritud
- Teade- ja pakettkommutatsiooni puhul kulub ühenduse loomisele vähem vaeva, aga iga konkreetse paketi edastamisele rohkem

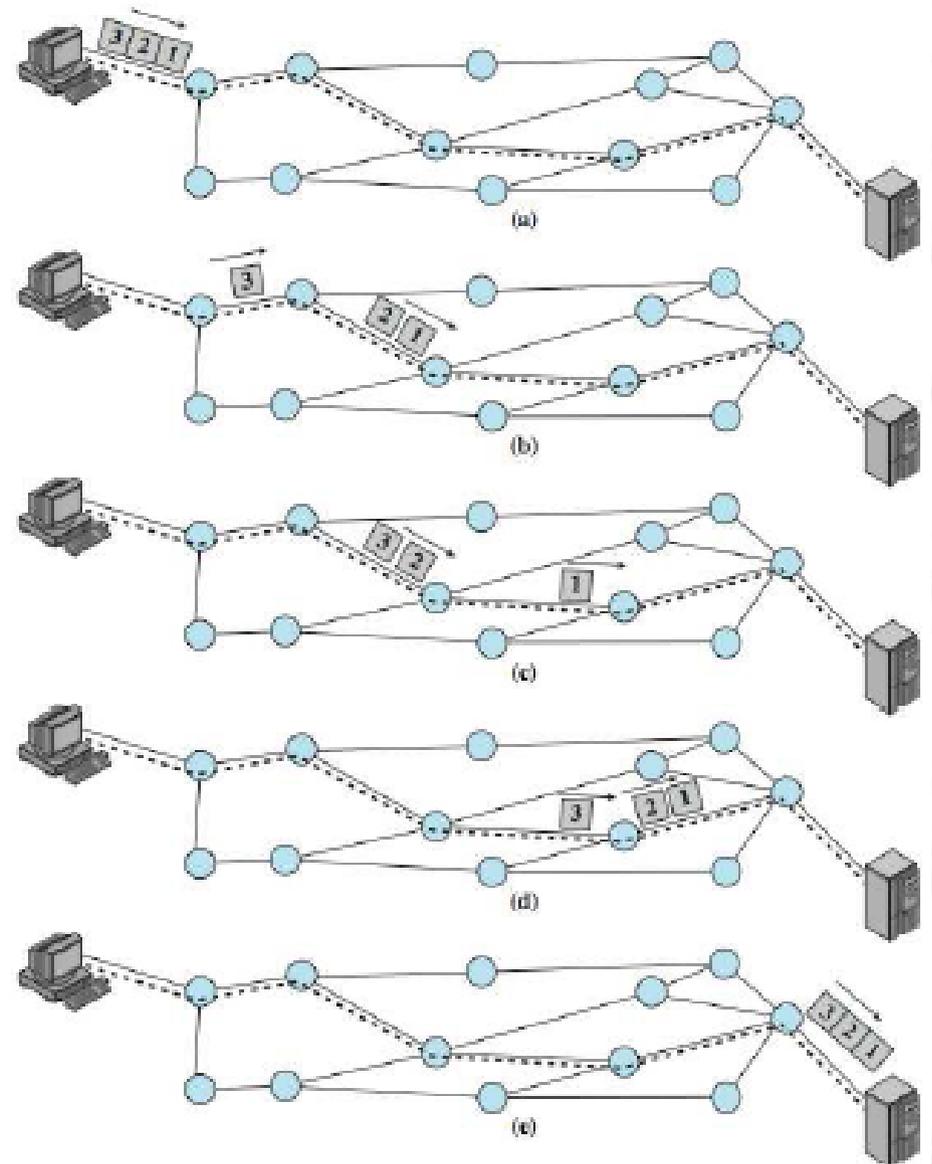
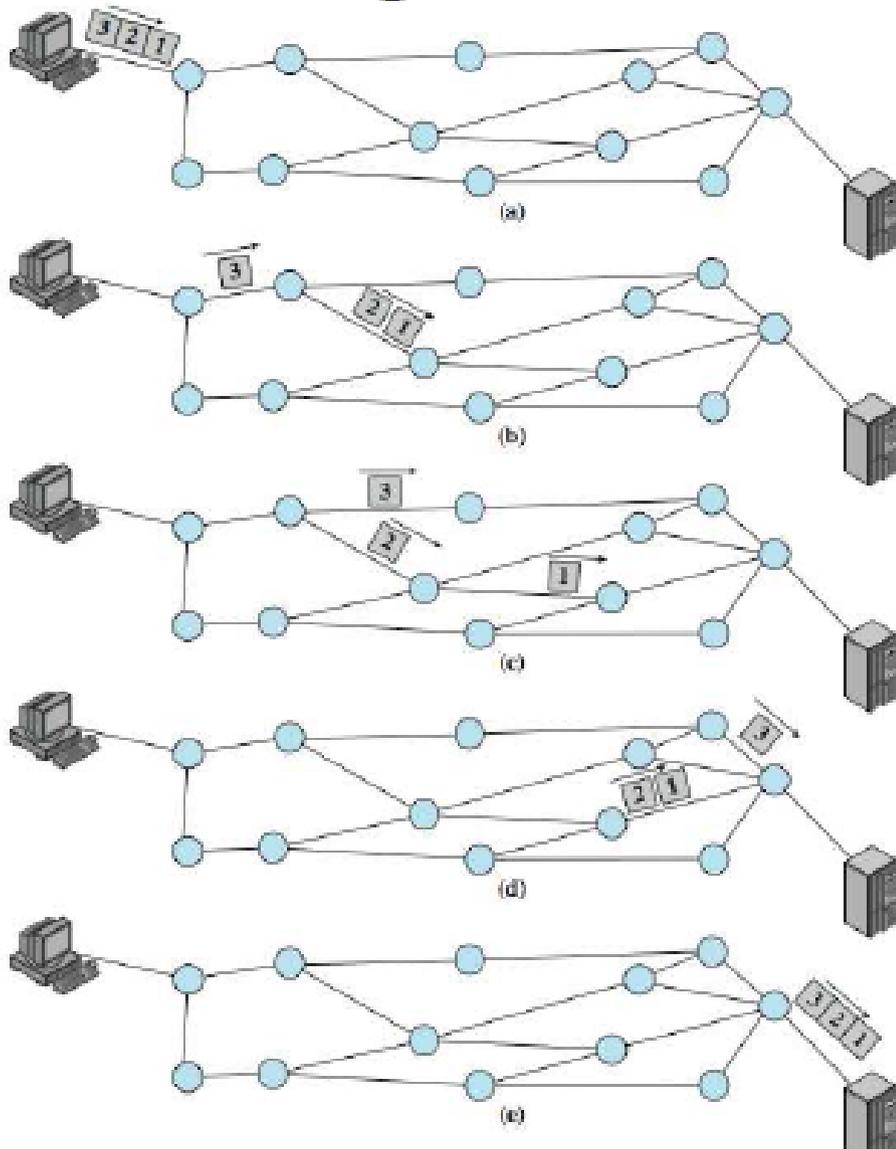
Kanal- vs pakettkommunikation

	Circuit- switched	Packet-switched
Dedicated connection	Yes	No
Call Set-up	Yes	No
Bandwidth	Fixed	Dynamic
Fixed Route	Yes	No
Network Congestion	Set-up time	Anytime
Utilization Charge	Time-based	Packet-based

Datagramm

- pakett, mis sisaldab saatja poolt määratud siht- ja lähteadressi ning mida saab iseseisvalt suunata sihtkohta
- kohalejõudmine, selle aeg ja järjekord pole garanteeritud
- mitteusaldatav

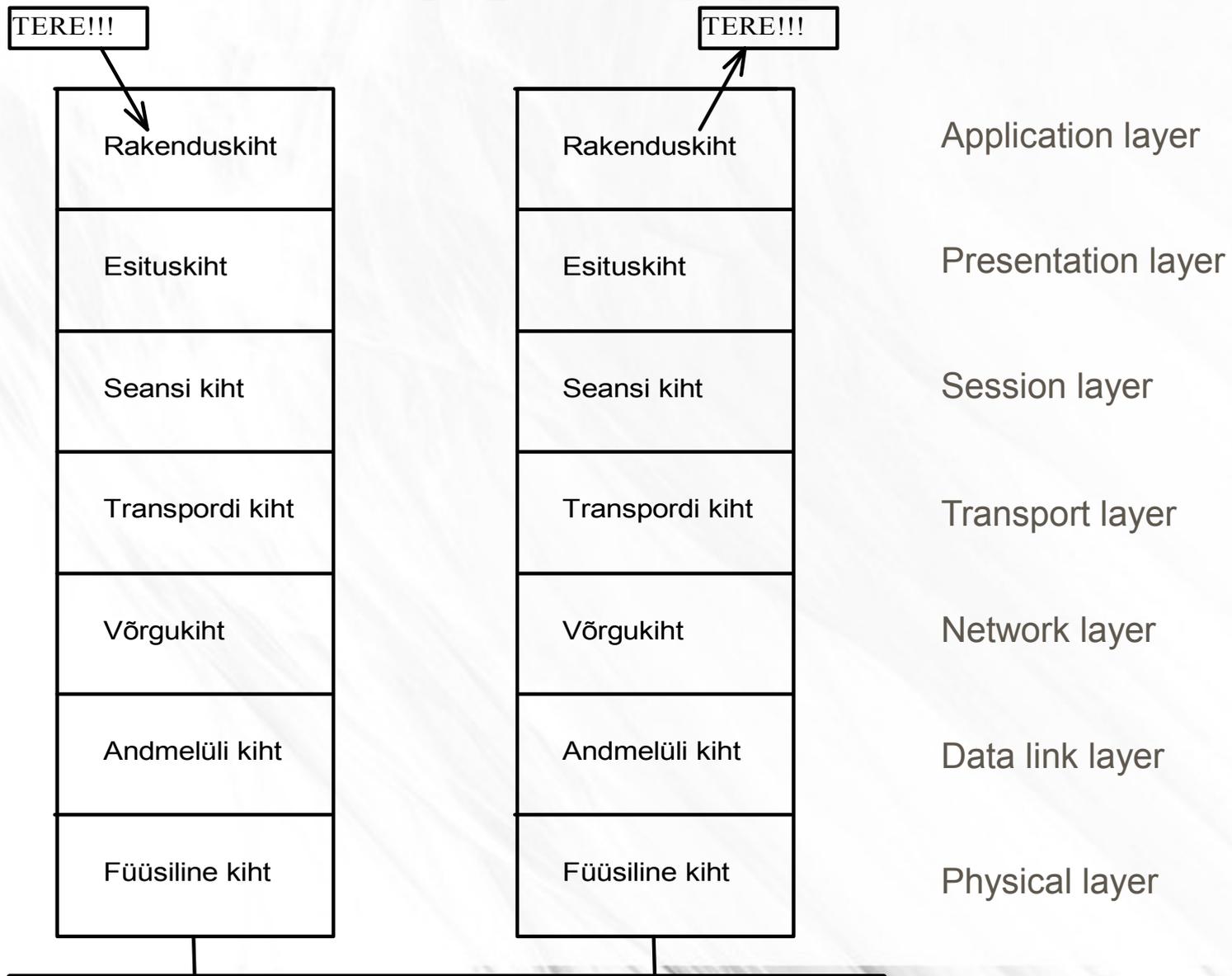
Datagramm vs Virtuaalanel





OSI võrgukiht

OSI mudel



OSI võrgukiht

- Andmeüksus on pakett
- Võrguseade on marsruuter
- Loogiline adresseerimine
- Pakettide marsruutimine
- Ühendab kokku erinevad võrgud (ehk leviedastusdomeenid)

Milleks vaja?

- Ühes võrgus palju arvuteid
 - jaotur (*hub*) – kõik näevad kõiki, võrk küllastub kiiresti põrgetest
 - kommutaator (*switch*) – põrked on ohjes, MAC aadresside tabelid suured
 - *hub* ja *switch* – leviedastus (*broadcast*) levib igale poole
- Võrkude ühendamine
 - kõik näevad kõiki, MAC tabelid suured
 - erinevad kanalikihi võrgutüübid (Ethernet, Token Ring, FDDI...)
 - Erinevaid võrke haldavad erinevad üksused

OSI võrgukiht

- IP protokoll (RFC 791, 823)
 - TCP/IP protokollistiku südamik
 - kasutusel Internetis
 - marsruuditav – pakett on suunatav ühelt võrgusõlmelt teisele kuni sihtpunktini
 - marsruuditavad on ka nt IPX (*Internetwork Packet Exchange*), AppleTalk, XNS (*Xerox Network Services*)
 - mittemarsruuditavad nt NetBEUI (*NetBIOS Extended User Interface*)

host, marsruuter

- Host – IP võrgus olev seade, millel on unikaalne IP aadress
 - nt lauaarvuti, server, võrguprinter,...
- Marsruuter on seade, mis ühendab erinevaid IP võrke
 - on ise ühe liidesega erinevates võrkudes
 - igas ühendatud võrgus unikaalne IP aadress
 - vahendab pakette erinevate võrkude vahel

IP protokoll

- Kasutusel kaks versiooni – IPv4 ja IPv6
- Pakett on datagramm
- lisaks hulk abiprotokolle
 - ICMP (*Internet Control Message Protocol*)
 - IGMP (*Internet Group Management Protocol*)
 - ARP (*Address Resolution Protocol*)
 - RARP (*Reverse Address Resolution Protocol*)

IP protokoll

- Iga seade omab võrgus olemise ajal unikaalset IP-aadressi
- IP-aadresside kasutust reguleerib IANA (*Internet Assigned Number Authority*)
 - <https://www.iana.org>
- Ühenduseta protokoll

IPv4 pakett

- Versioon – 4 bitti (IPv4=4, IPv6=6)
- Päise pikkus (*Internet Header Length*) – 32-bit ühikutes – 4 bitti
- Teenuseklass (*Differenciated services*) – 8 bitti (6+2 bitti)
- Kogupikkus (baitides) (päis + andmed) – 16 bitti
- Identifikaator – 16 bitti
- Lipud – 3 bitti
 - =0
 - DF (don't fragment)
 - MF (more fragments)
- Fragmendi nihe (*fragment offset*) – 8-baidistes ühikutes – 13 bitti

IPv4 pakett

- Aega elada e TTL (Time To Live) – 8 bitti
- Protokoll – 8 bitti (TCP=6, UDP=17, ICMP=1, IGMP=2, IP=4)
 - <https://www.iana.org/assignments/protocol-numbers>
- Päise kontrollsumma – 16 bitti
- Lähteaddress – 32 bitti
- Sihtaaddress – 32 bitti
- Valikud – turvalisus, ajatembeldus, veateated, silumine – $n \cdot 32$ bitti – tavaliselt ei kasutata, muutuva suurusega, 32 biti kaupa
- Andmed

ICMP

- *Internet Control Message Protocol* (RFC 792, 1122)
- IP pakett, mille andmeosas on ICMP päis ja andmed
- ICMP päise väljad
 - Tüüp – 8 bitti
 - Kood – 8 bitti
 - Kontrollsumma – 16 bitti
 - Ülejäänud päis (muutuv tähendus) – 32 bitti
- ICMP andmed (täiteks...)

ICMP

Teadete tüübid

- Kaja päring (echo request) (8)
- Kaja vastus (echo reply) (0)
- Sihtpunkt kättesaamatu (destination unreachable) (3)
 - kood=1 – host kättesaamatu
 - kood=2 – protokoll ei toetata
 - kood=3 – port kättesaamatu
 - kood=4 – fragmenteerimine vajalik
- Eluaja ületamine (11)
- ...

IP-aadress

- 32 bitti – 4 oktetti
- koosneb
 - võrguaadressist
 - hosti aadressist võrgus
- kirjutatakse kümnendkujul nt 123.45.67.89
 - (sama IP nt 16-ndsüsteemis 7B 2D 43 59)

IP-aadress

- Igas IP-võrgus reserveeritud
 - Võrguaadress – hosti bitid kõik nullid
 - Leviaadress (*broadcast*) – hosti bitid kõik ühed
 - RFC 919
- Algselt (Interneti algusaegadel) kasutati võrguaadressina IP esimest oktetti (baiti)
- *Unicast, multicast, broadcast*

Võrgumask

network mask, subnet mask

- Võrgu- ja hostiosa piiritlemiseks
- võrguosa bitid ühed
- hosti osa bitid nullid
- kirjutatakse nagu IP-aadressi nt 255.0.0.0
- esitatakse ka kaldkriipsuga vormis, nt /8
(sellist esitust nim 'prefix')

IP aadressi klassid

Klass	Esimesed bitid	Esimene oktett	Mask
A	0	0 – 127	/8 255.0.0.0
B	10	128 – 191	/16 255.255.0.0
C	110	192 – 223	/24 255.255.255.0
D	1110	224 – 239	-
E	1111	240 – 255	-

Reserveeritud IP-aadressid

- 224.0.0.0/4 – multiedastus (D-klassi võrgud)
(224.0.0.0 kuni 239.255.255.255)
- 240.0.0.0/4 – uurimis- ja arendustegevus
(kõik E-klassi võrgud)
(240.0.0.0 kuni 255.255.255.254)
- 10.0.0.0/8 - sisevõrgud
- 172.16.0.0/12 (kuni 172.31.255.255) -
sisevõrgud
- 192.168.0.0/16 (kuni 192.168.255.255) -
sisevõrgud

Reserveeritud IP-aadressid

- 127.0.0.0/8 – *loopback address*
 - 127.0.0.1 – *kohalik masin*
- 0.0.0.0/8 – lähteost lokaalses võrgus
 - 0.0.0.0 viitab iseendale
- 14.0.0.0/8 – *Public Data Networks* aadressid
 - vt <https://tools.ietf.org/html/rfc1700#page-181>
- 169.254.0.0/16 – “*link local*” aadressid (*RFC3927*)
 - seadistatakse automaatselt kui muud vahendid nt DHCP ei toimi

Reserveeritud IP-aadressid

- 128.0.0.0/16, 191.255.0.0/16, 192.0.0.0/16, 223.255.255.0/24 – IANA poolt reserveeritud tulevikus kasutamiseks
- 192.0.2.0/24 – dokumentatsioonis ja näidisprogrammikoodis kasutamiseks, nt koos domeeninimega *example.com* või *example.net*
- 192.88.99.0/24 – IPv6 suvaedastusaadressi (*anycast*) tõlkimiseks IPv4 aadressiks IPv6 ja IPv4 vahendavas marsruuteris

Reserveeritud IP aadressid

- 198.18.0.0/15 – jõudlustestide tegemiseks võrgus
- 255.255.255.255 – lokaalse võrgu leviaadress

IP aadressi klassid vs CIDR

- Olukorda, kus IP-võrk omab võrgumaski klassikuuluvuse põhjal, nim klassidega adresseerimiseks (classful addressing)
- 1993.a hakati kasutama CIDR (Classless Inter-Domain Routing)
 - Võrgu suurus pannakse paika võrgumaskiga
 - lubab asutustele eraldada ka vähem kui terve klassi jagu IP-aadresse
 - näit 89.90.91.128/26 e mask 255.255.255.192

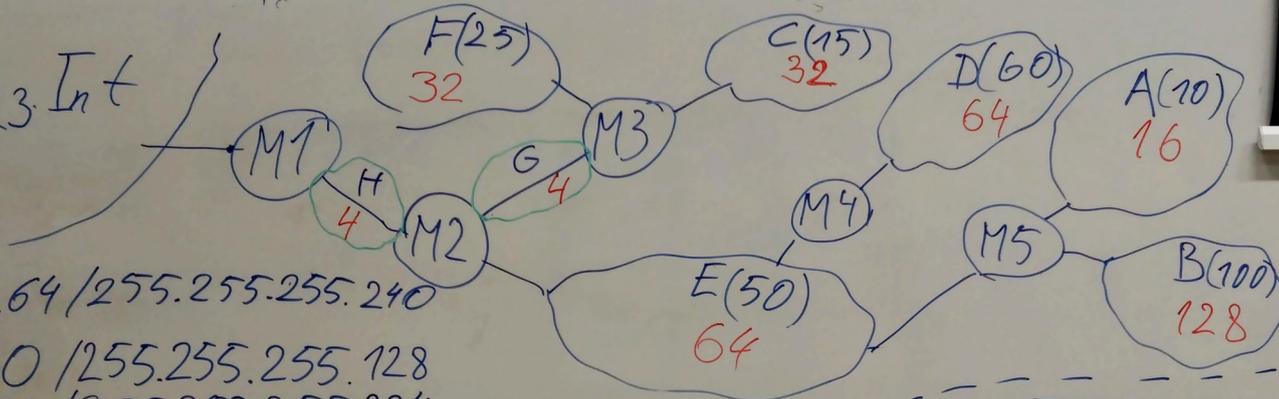
Alamvõrgud

- *subnetting* – üks võrk jagatakse mitmeks võrdse suurusega väiksemaks alamvõrguks (*subnet*)
- Võrgu aadressile laenatakse lisabitte hosti osast
- Esimene ja viimane alamvõrk oli varem reserveeritud ja neid ei saanud kasutada
 - Praegu juba saab

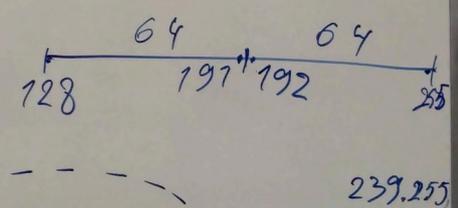
VLSM

- *Variable Length Subnet Mask* – lubab sama võrgu sees kasutada erineva suurusega alamvõrke
- näide...

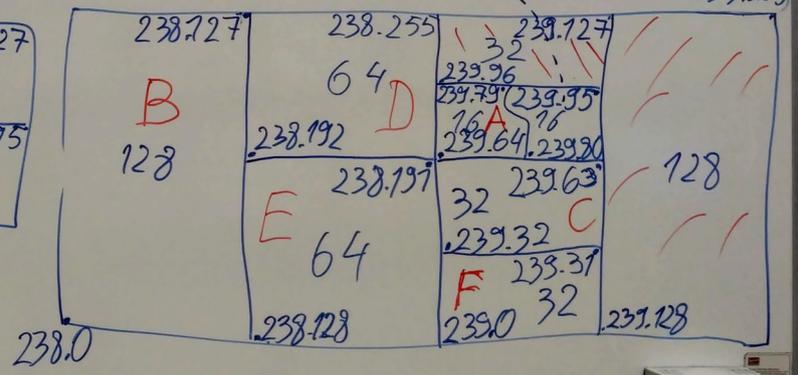
193.40.238.0/23 Int



- A = 193.40.239.64 / 255.255.255.240
- B = 193.40.238.0 / 255.255.255.128
- C = 193.40.239.32 / 255.255.255.224
- D = 193.40.238.192 / 255.255.255.192
- E = 193.40.238.128 / 255.255.255.192
- F = 193.40.239.0 / 255.255.255.224
- G = 193.40.239.84 / 255.255.255.252
- H = 193.40.239.80 / 255.255.255.252



239.127	
70	
239.96	
4 239.87	239.95
239.84	6
H 239.83	8
239.80	4 239.88



IP-aadresside jaotamine

- IP-aadresse jaotatakse CIDR meetodil
- Hierarhiline süsteem, põhiregistriks (*Internet Registry System*) on IANA
- IANA-le alluvad regionaalsed Interneti registrid RIR-d (*Regional Internet Registry*)
- RIR-le alluvad kohalikud Interneti registrid LIR (*Local Internet Registry*)

RIR

- AfriNIC – kogu Aafrika (www.afrinic.net)
- APNIC – Vaikse ookeani, Aasia ja Austraalia, Afganistan, Pakistan, India, Sri Lanka, Nepaal, Kagu-Aasia riigid (www.apnic.net)
- ARIN – USA, Kanada, osad Kariibi mere riigid (www.arin.net)
- LACNIC – Lõuna- ja Kesk-Ameerika, osad Kariibi mere riigid (www.lacnic.net)
- RIPE NCC (*Reseaux IP Europeens Network Coordination Centre*) – Euroopa, Lähis-Ida, Venemaa ja Kesk-Aasia (www.ripe.net)

LIR

- Eesti LIR-de nimekiri on saadaval RIPE lehel

<https://www.ripe.net/membership/indices/EE.html>

- ISP-d
 - suure võrguga asutused
- IP-plokkide ülemaailmne jaotumine RIR-de vahel:

www.iana.org/assignments/ipv4-address-space

MAC ja IP sidumine

- Kasutatakse ARP protokoll
- Igal hostil on ARP tabel, kus on kirjas
 - MAC aadress
 - IP aadress
 - aegumine
- otsitakse samas (alam)võrgus oleva hosti MAC aadressi
- ARP päring saadetakse Ethernet leviaadressile
- ARP vastus saadetakse küsija MAC-aadressile

Marsruutimine

- Igal hostil ja marsruuteril on marsruutimistabel
- Marsruutimisotsus tehakse **sihtaadressi** põhjal
- Kui saaja host on samas (alam)võrgus, saadetakse otse vastuvõtjale
- Kui saaja host on erinevas võrgus kui saatja, saadetakse IP pakett vastava marsruuteri kanalikihi aadressile

Marsruutimine

- Marsruutimistabelis on kirje iga teadaoleva võrgu (või võrgugrupi) jaoks
 - võimalik, sest IP-võrke on võimalik hierahtiliselt grupeerida
- Marsruutimistabeli kirjeid on võimalik agregeerida (e koondada), et paketi kohta läbivaadatavaid kirjeid oleks vähem
- Kui sihtaadress ei vasta ühelegi kirjele, pakett unustatakse ja saadetakse saatjale ICMP veateade

Mõiste

- Konvergenssus – olukord, kus kõigil osapooltel on millestki ühesugune arusaam
 - näiteks võrgu ülesehitusest

Marsruutimisprotokollid

- Kasutatakse marsruutimisinfo vahetamiseks marsruuterite vahel
- Protokollil abil teada saadud marsruute nimidünaamilisteks
- Kärsitsi sisestatud marsruute nimidstaatilisteks
- Tegu on programmiga, mis jookseb marsruuteris, ning muudab marsruutimistabelit

Marsruutimisprotokollid

- Autonomne süsteem – võrkude kogum, mida administreerib üks üksus
 - nim ka marsruutimisdomeen, administratiivne domeen
 - AS number (<https://www.iana.org/assignments/as-numbers/>)
 - Internet jagatakse väiksemateks hallatavateks kogumiteks
- IGP (*interior gateway protocol*) – autonoomse süsteemi sees
- EGP (*exterior gateway protocol*) – autonoomsete süsteemide vahel marsruutimisinfo vahetamiseks

Marsruutimisprotokollid

- IGP protokollid
 - RIP (*Routing Information Protocol*) (RFC1058)
 - **RIPv2** (*RIP ver 2*) (RFC2453)
 - **OSPF** (*Open Shortest Path First*) (RFC2328)
 - IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*) (Cisco)
 - EIGRP (*Enhanced IGRP*) (Cisco)
 - IS-IS (*Intermediate system to intermediate system*) (ISO10589)
- EGP protokollid
 - **BGP** – (*Border Gateway Protocol*) (RFC4271)

Marsruutimisprotokollid

Algoritmi järgi jaotatakse

- Distantvektor-marsruutimisprotokollid (*distance vector*)
 - RIP, IGRP, EIGRP, BGP
- Sideliini-oleku marsruutimisprotokollid (*link-state*)
 - OSPF, IS-IS

Distantsvektor-marsruutimisprotokollid

- Baseeruvad Bellman-Fordi algoritmil
- Iga marsruuter kuulutab naabermarsruuteritele välja võrke, mida ta teab
 - on vahetult ühendatud või
 - on marsruudi õppinud naabermarsruuteritelt
- Iga võrgu kohta näidatakse ka meetrika
 - meetrikaks tavaliselt HOP-de (läbitavate marsruuterite) arv
- Õpitud marsruudid ununevad mingi (kontroll)aja möödudes, seepärast uuendatakse neid kindla aja tagant

... nõrkused

- Konvergentsi saavutamine võib võtta aega
- Võimalik marsruutimistsüklite tekkimine

Eeltoodud probleemide vältimine

- Meetrikate maksimaalväärtused
- Vaatevälja jagamine (*split horizon*)
 - kellelt marsruut õpiti, sellele seda uuesti ei kuulutata
- Marsruudi mürgitamine
- Ajendatud uuenduste saatmised
 - topoloogia muutustest teavitatakse kohe
- Maashoidmise taimerid (*holddown timers*)
 - topoloogia muutustel lastakse levida enne uut muudatust

Sideliini-oleku marsruutimisprotokollid

- Marsruutimisala piires teavad kõik protokollid toetavad marsruuterid kõikide sideliinide ja võrkude infot (topoloogiat)
- Topoloogia tabelit vaadeldakse graafina ja arvutatakse nt Dijkstra algoritmiga igasse võrku parima meetrikaga marsruut
- Parim marsruut pannakse marsruutimistabelisse
- Meetrika seotud sideliini läbilaskevõimega

Sideliini-oleku marsruutimisprotokollid

- Kui mingi sideliini (võrguliidese) olek muutub, annab marsruuter sellest kõigepealt naabritele teada
 - saadetakse vaid oleku muudatuse info, mitte kogu marsruutimistabel
- Seejärel arvutatakse uus marsruutimistabel

EGP marsrutimisprotokollid

BGP – *Border Gateway Protocol*

- Olemuselt distantsvektor-marsruutimisprotokoll
- Kasutatakse peamiselt autonoomsete süsteemide vahel – kõik sihtkohad identifitseeritakse AS numbriga
- IP-adressivahemikud on seotud AS numbriga ja täisteega sihtkohta
- Igas AS-s peab olema vähemalt üks BGP-d oskav marsruuter
- BGP marsruuterid ei pea olema samas võrgus – mitte naabrid vaid partnerid
- Võimalik kasutada ka ühe AS-i sees (piirimarsruuterites)

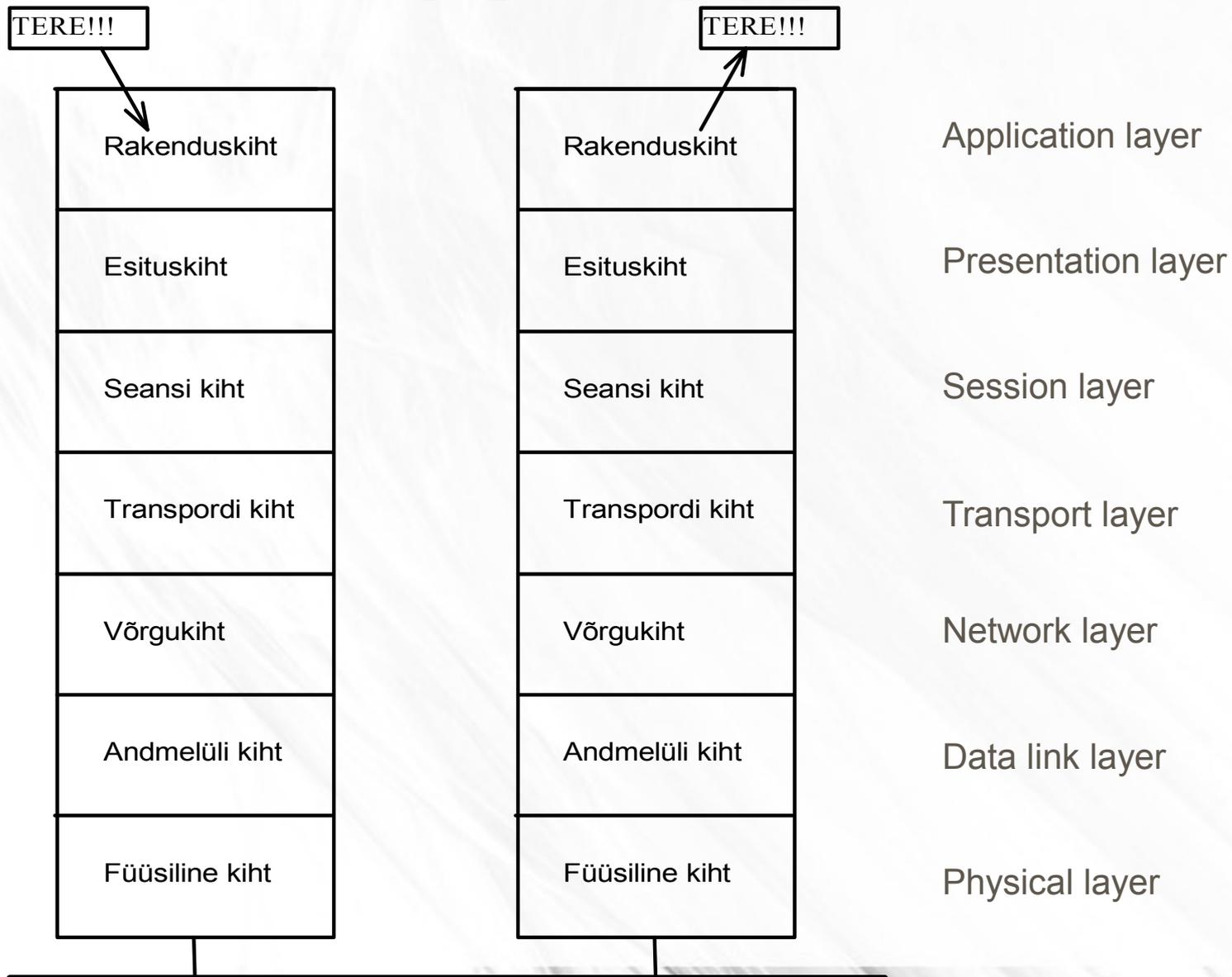
Marsruutimisprotokollid

- Tarkvara
 - Gated
 - OSPF, RIP, BGP
 - Quagga / Zebra
 - OSPFv2, RIP v1&v2, BGPv4, RIPng, OSPFv3
 - BIRD (Bird Internet Routing Daemon)
 - BGP, RIP, OSPF



Transpordikiht

OSI mudel



Transpordikiht

- Andmevoo teenus, veakontroll
- Ühenduse loomine
- Usaldatavad ühendused
- Pordid (ühenduste eristamiseks)
- Ummistustega tegelemine
- Järjekorra arvestamine

Transpordikiht

- Andmeühikuks segment
- Protokollid peavad toetama vaid ühenduse lõpphostid
- Protokollid
 - TCP (*Transmission Control Protocol*)
 - UDP (*User Datagram Protocol*)

TCP

RFC 793, 2581, 2001)

- Esialgne spetsifikatsioon 1981
- Pakub kõiki transpordikihi funktsioone
- Loob virtuaalse usaldusväärse täisdupleksühendusega ühenduse
- Andmeühikuks segment

TCP segment

- Lähteport (16 bitti)
- Sihtport (16 bitti)
- Järjekorranumber (32 bitti)
- Kinnituse number (32 bitti)
- Päise pikkus (32-bit ühikutes, 5-15) (4 bitti)
- Reserveeritud =0 (4 bitti)

TCP segment (järg)

- Koodi bitid (8bitti)
 - CWR (congestion window reduced)
 - ECE (ECN-echo (explicit congestion notification))
 - URG (urgent)
 - ACK (acknowledgment)
 - PSH (push) – andmed saata koheaselt edasi
 - RST (reset) – ühenduse katkestamine
 - SYN (synchronize) – ühenduse loomine
 - FIN (finish) – pole rohkem andmeid saata

TCP segment (järg)

- Akna suurus (16 bitti)
- Kontrollsumma (16 bitti) – TCP päis + pseudopäis (IP päis) + andmed
- Kiireloomulise teate viit (*urgent pointer*) – kus lõpeb kiireloomulise teate osa segmendis
- Valikud (*options*) – nt *maximum segment size*, *window scale* jne. (0, 32, 64, ... 320 bitti)
- Andmed

Pordid

- Port on nõ hostisisene aadress
- pordi numbrid 1-65535
- Pordinumbrite registreeringuid haldab IANA
<https://www.iana.org/assignments/port-numbers>
- 1..1023 – üldtuntud pordid (*well-known ports*)
- 1024..65535 – vabalt kasutatavad
 - 1024..49151 – registreeritud pordid
 - 49152..65535 – “dünaamilised”, “privaatsed” pordid

Pordid

- Erinevatel transpordikihi protokollidel on sõltumatud pordid (nt TCP vs UDP)
- Ühenduse määravad ära kasutatav transpordikihi protokoll ning otspunktide IP-aadressid ning pordid

TCP ühendus

Ühendus toimib kolmes etapis

- Ühenduse loomine
- Andmete edastamine
- Ühenduse sulgemine

Ilma ühendust loomata ei saa andmeid vahetada

TCP ühenduse loomine

“Kolmeosaline käepigistus” (*three-way handshaking*)

- klient saadab segmendi algse järjekorranumbri x ja SYN lipuga
 - x =juhuslik arv $0 \dots 2^{32}-1$
- server jätab x meelde, paneb vastusesse kinnituse väljale $x+1$ ning järjekorranumbri väljale arv y ; lipud SYN, ACK
 - y =juhuslik arv $0 \dots 2^{32}-1$
- klient jätab y meelde, paneb vastusesse kinnituse väljale numברי $y+1$; lipp ACK
- ühendus loodud

TCP ühenduse sulgemine

- A – ühenduse sulgemise algataja
 - A saadab B-le segmendi jrk nr-ga x , lipp FIN
 - B saadab A-le segmendi kinnituse nr-ga $x+1$, lipp ACK
 - kui B otsustab samuti ühenduse sulgeda, saadab A-le segmendi jrk nr-ga y , kinnituse nr $x+1$, lipud FIN, ACK
 - A vastab segmendiga, kus kinnituse nr $y+1$, lipp ACK
 - Ühendus suletud

TCP andmete edastamine

- Saadetakse andmevoog jagatakse segmentideks
- Iga segmendi järjekorranumber suureneb segmendi andmete hulga võrra (baitides)
- Järjekorranumbrid on ühenduse eri suundades sõltumatud
- Mõni segment võib kaduma minna või jõuda kohale hiljem kui järgmine segment

TCP andmete edastamine

- Segmentidele saadetakse kinnitus
 - kinnituse numbriks järgmise oodatava segmenti järjekorranumber
- Kui saatja ei saa teatud aja (nt 3s) jooksul kinnitust, siis saadetakse segment uuesti
 - kuni ajalimiit täis saab ja ühendus katkestatakse
- Vastuvõtja poolt saadetakse kinnituse segment ei pruugi, aga võib sisaldada andmeid (millele saadetakse omakorda kinnitus jne)

TCP andmete edastamine

- Kinnitus võidakse saata kumulatiivselt mitme segmendi kohta korraga
- Saatja jääb kinnitust ootama kui akna (*window*) jagu andmeid on saadetud
 - libisev aken (sliding window)
- Akna suurus võib ühenduse käigus muutuda

Aeglaselt alustamine

- Alguses on akna suurus väike, nt 1 segmendi suurune
- Kui sellele tuli edukalt kinnitus, muudetakse akna suurust nt 2 korda suuremaks
 - jne
- Kui teavitust enam ettenähtud aja jooksul ei tulnud (näit võrgu ummistumise tõttu), vähendatakse akna suurust
- Alustatakse aeglaselt, maksimaalne kiirus saavutatakse kiiresti

Kiire taassaatmine (*fast retransmission*)

- Kui mõni segment läheb kaduma, on seda vastuvõtjal võimalik eraldi uuesti küsida
- Saatja ei pea ootama kinnituse *timeout*'i

Ummistuste vältimine (*congestion avoidance*)

- Peale maksimaalse läbilaskevõime saavutamist minnakse ummistuste vältimise režiimi
 - akna suurust muudetakse 1 segmendi võrra, (mitte kordades)

- Järgnevusskeemid

<https://www.eventhelix.com/networking/tcp/>

UDP

RFC 768

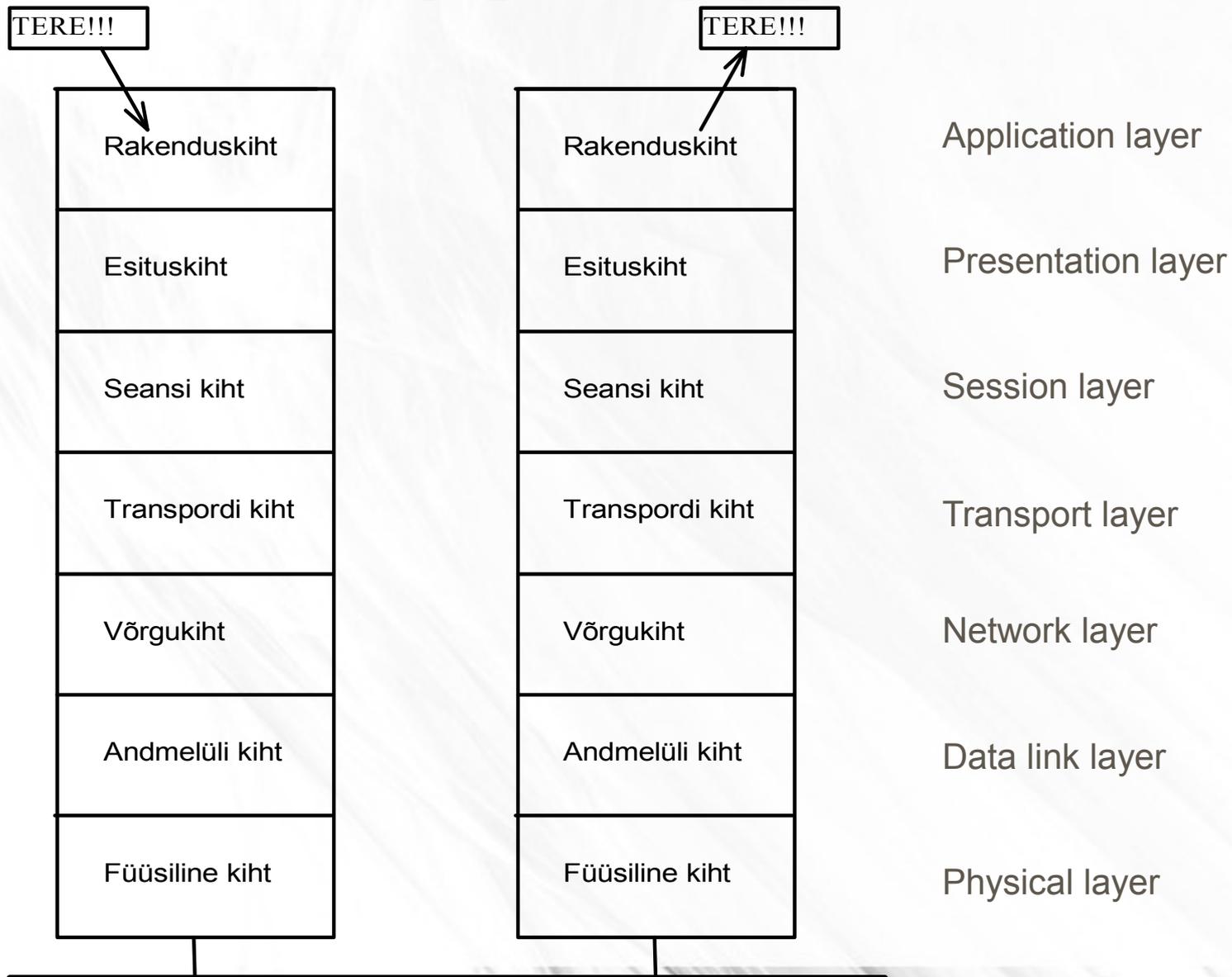
- *User Datagram Protocol*
- Ei loo ühendust
- Ei taga info kohalejõudmist
- On kiirem kui TCP
- Võimaldab multiedastust

UDP segment (*datagramm*)

- Lähteport (16 bitti)
- Sihtport (16 bitti)
- Pikkus – päis+andmed (16 bitti)
- Kontrollsumma (16 bitti)
- Andmed



OSI mudel



Seansikiht

- Haldab loogilisi seansse hostide vahel
- Seansi
 - loomine
 - haldamine
 - katkestamine
 - jätkamine
- Sageli ei kasutata

Seansikihi protokollid

- TLS (*Transport Layer Security*) / (SSL (*Secure Sockets Layer*)) – turvalise suhtluskanali loomine (HTTPS, krüpteeritud SMTP)
- SSH (*Secure Shell*) – turvaline kanal teiste rakenduste jaoks nagu SFTP, SCP
- RPC (Remote Procedure Call)
- NetBIOS
- PPTP (*Point-to-point Tunneling Protocol*) – virtuaalsete privaatvõrkude tekitamise protokoll

Esituskiht

- Tagada andmete sõltumatus platvormist st lepitakse kokku andmete vormingus
 - nt arvude esitus (*big endian vs little endian*)
 - kodeerimine (nt MIME)
 - pakkimine
 - krüpteerimine
 - serialiseerimine (objektid, andmestruktuurid jne)
- Tavaliselt koos rakenduskihiga

Rakenduskiht

- Programmide enese protokollid nt
 - HTTP (veeb)
 - SMTP (e-kirjad)
 - FTP (failide transport) (vana)
 - Telnet
 - DNS (nimeserver)
 - ...

