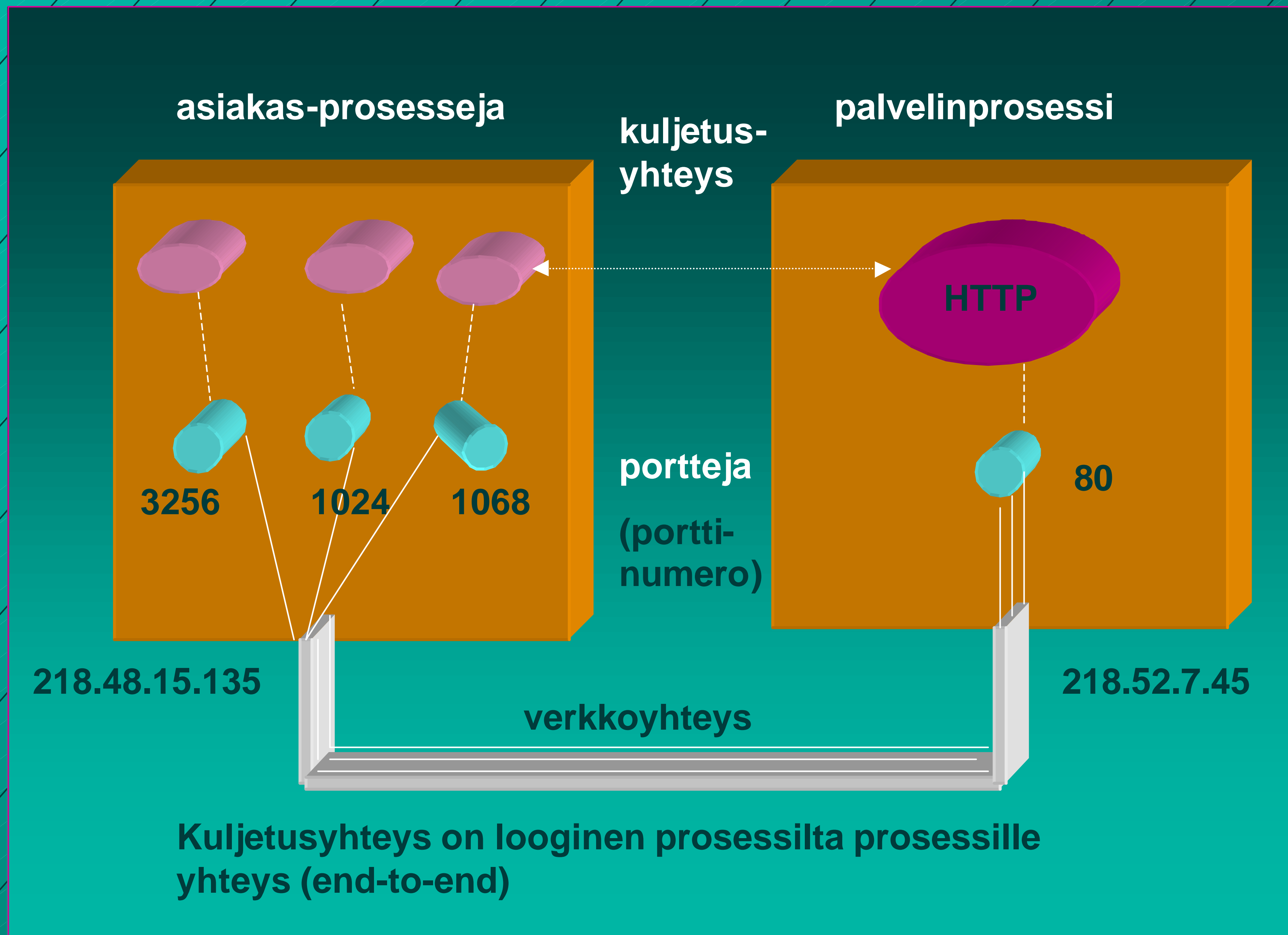
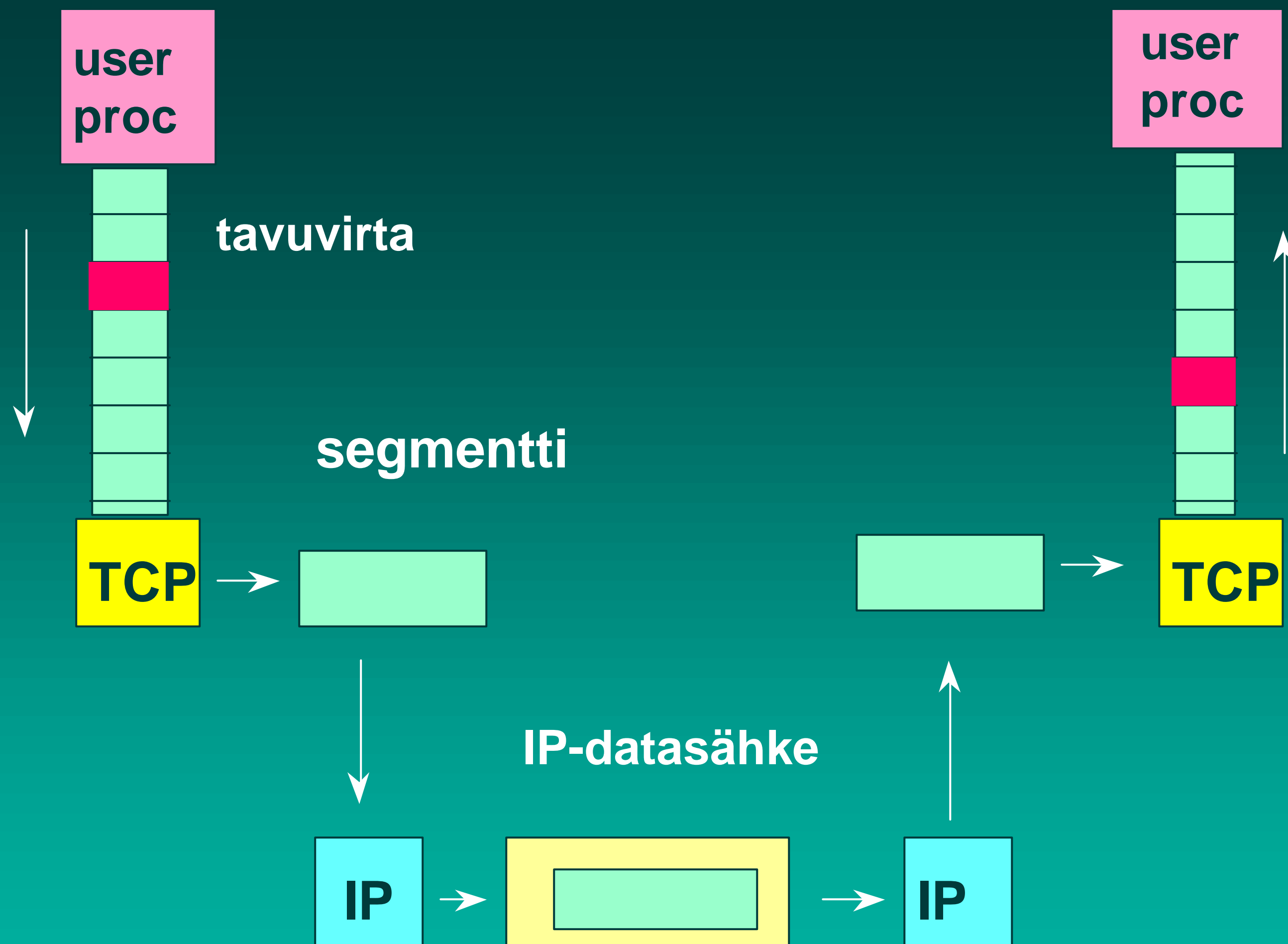
3. Kuljetuskerros

3.1. Kuljetuspalvelu

- ‘End- to- end’
  - prosessilta prosessille looginen yhteys
    - portti
  - verkkokerros koneelta koneelle
    - IP-osoite
- peittää verkkokerroksen puutteet
  - jos verkkopalvelu ei ole riittävän hyvä, sitä voidaan parantaa kuljetuskerroksella
    - kuljetuskerros huomaa verkkokerroksen kadottamat paketit ja pyytää niiden uudelleenlähetystä


asiakas-prosesseja
kuljetus-
yhteys
palvelinprosessi
HTTP
portteja
(portti-
numero)
3256
1024
1068
80
218.48.15.135
218.52.7.45
verkkoyhteys
Kuljetusyhteys on looginen prosessilta prosessille
yhteys (end-to-end)



Prosessilta prosessille - tavuvirta

kuljetuspalvelut parantavat verkkopalveluja

Sovelluksen näkemä palvelun laatu (Quality of Service, QoS)

kuljetusker-roksen palvelut	kuljetus-kerroksen palvelut
verkkoker-koksen palvelut	verkkokerrok-sen palvelut

Sovelluksen vaatimuksia kuljetuspalvelulle:

- **Virheetön, luotettava**
- **järjestyksen säilyttävä**
- **kaksoiskappaleet karsiva**
- **mielivaltaisen pitkiä sanomia salliva**
- **vuonvalvonnan mahdollistava**

Verkkokerros kuitenkin voi

- **kadottaa sanomia**
- **toimittaa sanomat epäjärjestyksessä**
- **viivyttää sanomia satunnaisen pitkän ajan**
- **luovuttaa useita kopioita samasta sanomasta**
- **rajoittaa sanomien kokoa**

Internetin kuljetuskerros

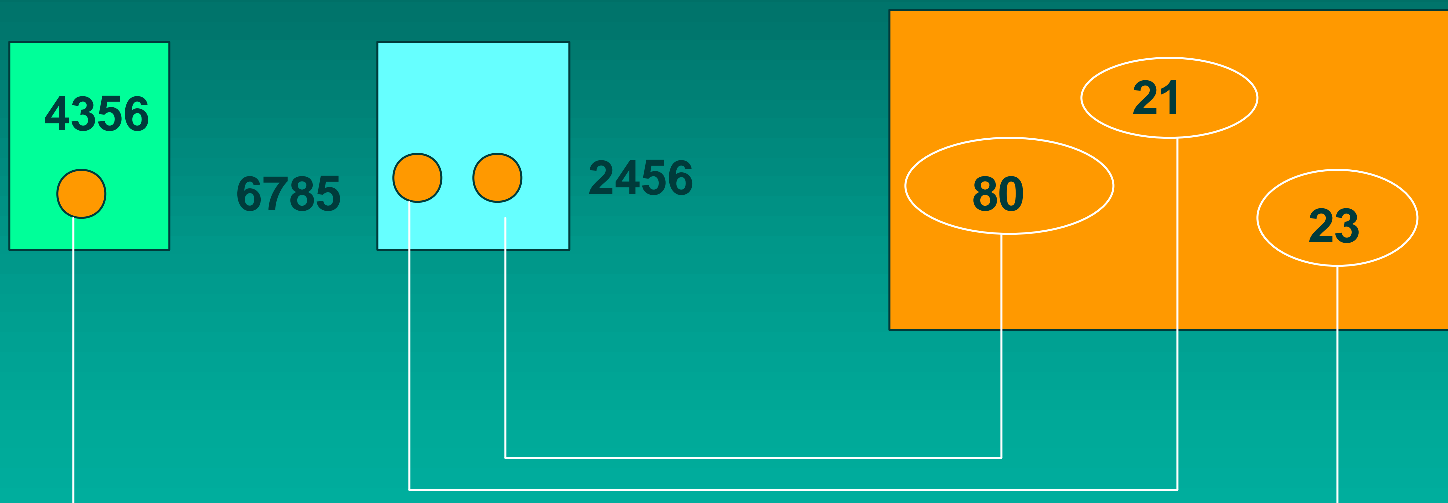
- UDP (User Datagram Protocol)
  - yhteydetön, epäluotettava palvelu
- TCP (Transmission Control Protocol)
  - yhteydellinen, luotettava palvelu
    - virhevalvonta
      - havaitsee ja korjaa siirrossa syntyneet virheet
    - vuonvalvonta
      - ei ylikuormita vastaanottajaa
    - ruuhkanvalvonta
      - huolehtii ettei verkko pääse ruuhkautumaan

Sovelluksien datavirtojen erottaminen

- IP-osoite
  - osoittaa koneen yksikäsitteisesti
- Sovellusprosessi tunnistetaan porttinumerosta (16 bittiää =>0-65535)
  - jokaisessa lähetetyssä segmentissä on
    - lähettäjän porttinumero
    - vastaanottajan porttinumero
- Yleisillä palvelimilla omat varatut porttinumerot (0-1023)
    - SMTP 25, HTTP 80, jne

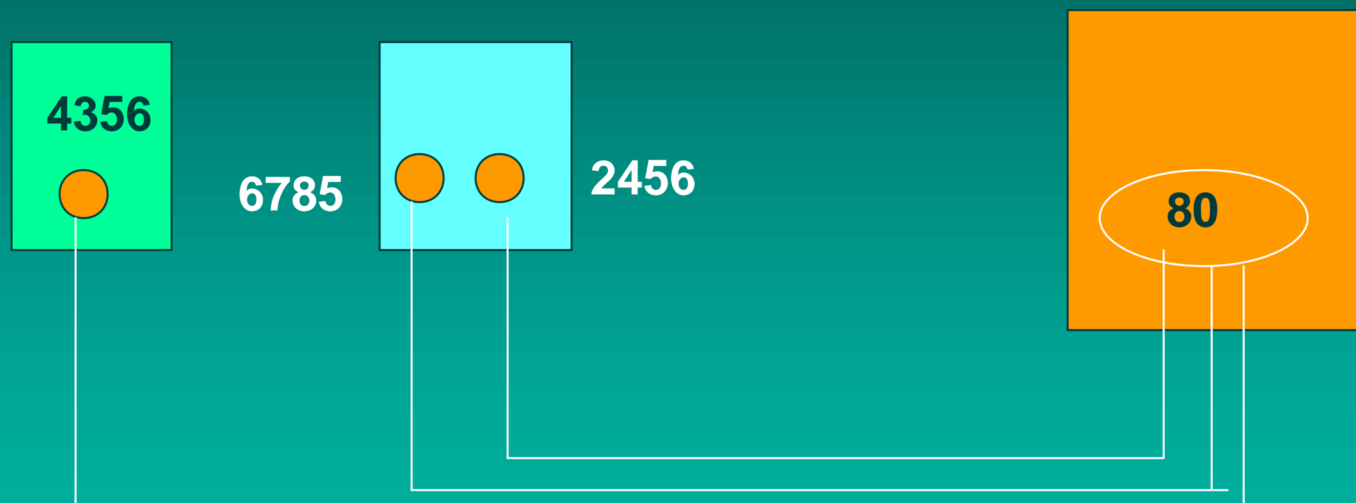
Asiakkaalle kuljetuskerros usein automaattisesti antaa käyttöön jonkin vapaan porttinumeron yhteyden ajaksi

Palvelimilla kiinteät numerot



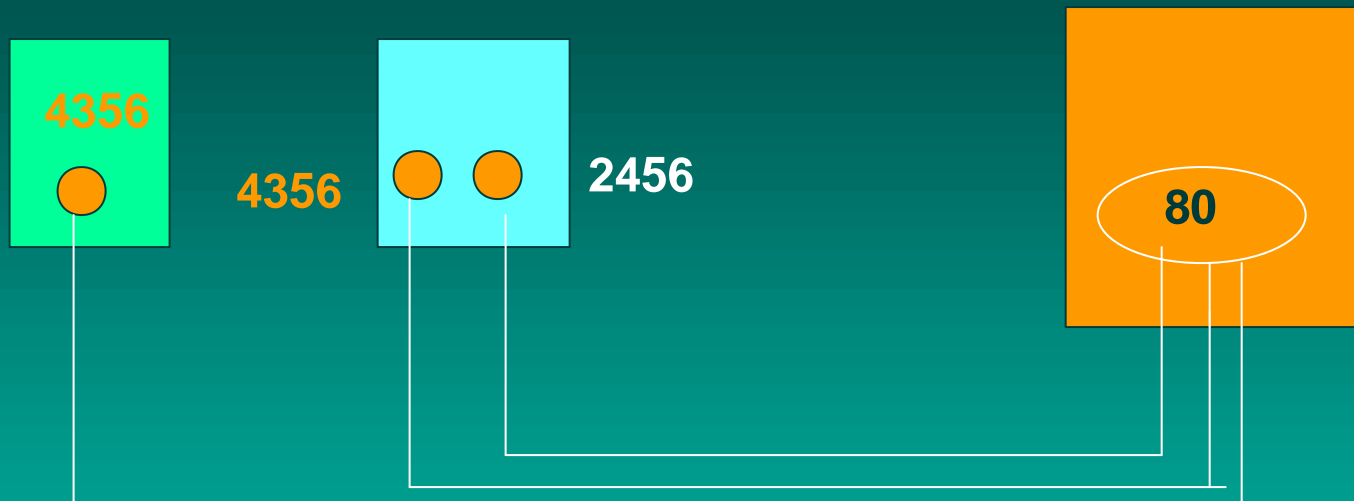
Kolme yhteyttä: 4356 <=> 23, 6785 <=> 21, 2456 <=>80

Tarvitaan sekä lähteen että kohteen porttinumerot



Kolme yhteyttä: 4356 <=> 80, 6785 <=> 80, 2456 <=>80

Eri koneissa voidaan ottaa sama numero!



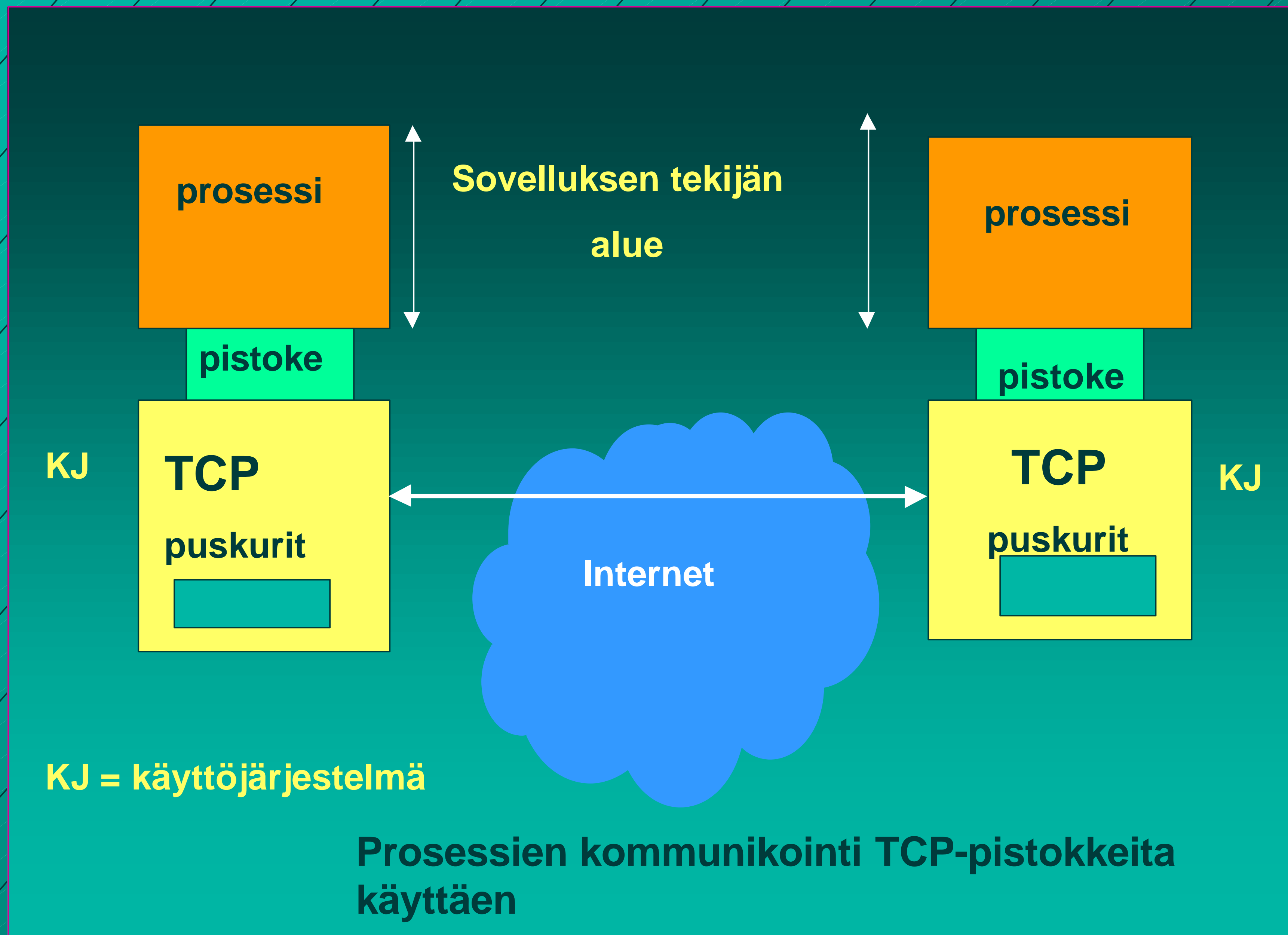
Kolme yhteyttä: 4356 <=> 80, 4356 <=> 80, 2456 <=>80!

Kuljetusyhteydellä käytetään apina myös IP-osoitetta:

=> koneilla eri IP-osoitteet, joten yhteydet pystytään erottamaan

Pistokerajapinta (Socket interface)

- Verkkopalvelun ja sitä käyttävän sovelluksen rajapinta
  - yleensä käyttöjärjestelmän tarjoama palvelu
  - pistokerajapinta alunperin Berkeley Unixin mukana, nyt lähes kaikissa käyttöjärjestelmissä
  - miten verkkoprotokollan tarjoamiin palveluihin päästään käsiksi sovelluksesta


prosessi
Sovelluksen tekijän
alue
prosessi
pistoke
pistoke
KJ
TCP
puskurit
TCP
puskurit
KJ
Internet
KJ = käyttöjärjestelmä
Prosessien kommunikointi TCP-pistokkeita käyttäen

- pistoke (socket)
  - TCP-yhteyden päätepiste sovellukselle
    - lähettäjällä ja vastaanottajalla oma pistoke
  - pistokenumero 48 bittiä
    - koneen 32 bitin IP-osoite
    - 16 bitin porttinumero

TCP-yhteys

- kaksisuuntainen (full-duplex) kaksipisteyhteys
- tunnistetaan päätepisteinä olevien pistokkeiden tunnuksista (pistoke1, pistoke2)

TCP:n pistokeprimitiivit

- SOCKET luo uusi yhteyden päätepistepistoke
- BIND anna pistokkeelle osoite
- LISTEN halukas vastaanottamaan yhteyksiä
- ACCEPT jää odottamaan yhteysyrityksiä
- CONNECT yritä muodostaa yhteys
- SEND lähetä dataa yhteyttä pitkin
- RECEIVE vastaanota dataa yhteydeltä
- CLOSE pura yhteys (symmetrinen)

Kuljetusyhteyden muodostus ja käyttö

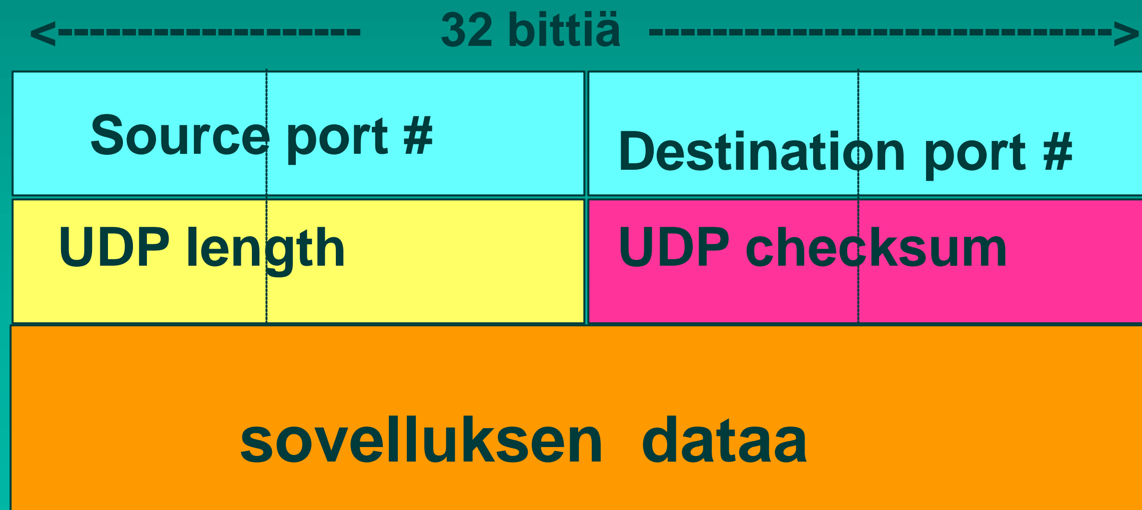
SOCKET

BIND

LISTEN

3.3 UDP

- UDP (User Data Protocol)
  - voidaan lähettää sanomia ilman yhteyden muodostusta



UDP-tarkistussumma

- Virheen havaitsemista varten otsakkeeseen liitetään tarkistussumma
  - kaikki segmentin 16 bitin sanat lasketaan yhteen ja summasta otetaan yhden komplementti
    - = muutetaan ykköset nolliksi ja nollat ykkösiksi
  - vastaanottaja laskee taas kaikkien segmentin sanojen (mukana myös tarkistussumma) summan
    - jos tulokseksi saadaan 16 ykköstä, niin ok!

Esimerkki

- Lasketaan yhteen kolme 8 bitin mittaista sanaa:
- Lähettäjä vastaanottaja

Lähettäjä	vastaanottaja
1011 0100	1011 0100
0111 0101	1111 0101
1000 1101	1000 1101
=========	0100 1001
1011 0110	=========
	0111 1111
0100 1001	

Yhden komplementti

- Miksi tarvitaan tarkistussumma?
  - Kaikki siirtoyhteyskerrokset eivät suorita tarkistuksia
- UDP-tarkistussumma ei ole kovin tehokas havaitsemaan virheitä!
- Se ei myöskään yritä toipua virheistä!
  - Jotkut toteutukset voivat tuhota virheellisen segmentin
  - jotkut antavat se sovellukselle varoituksen kera

UDP:n etuja:

- Yhteydetön
  - aikaa ei kulu yhteyden muodostamiseen ja purkamiseen
  - ei tarvita resursseja yhteyden tilatietojen ylläpitoon
- Otsake pienempi => pienempi yleisrasite => tehokkaampi
- Ruuhkanvalvonta ei säännöstele liikennettä

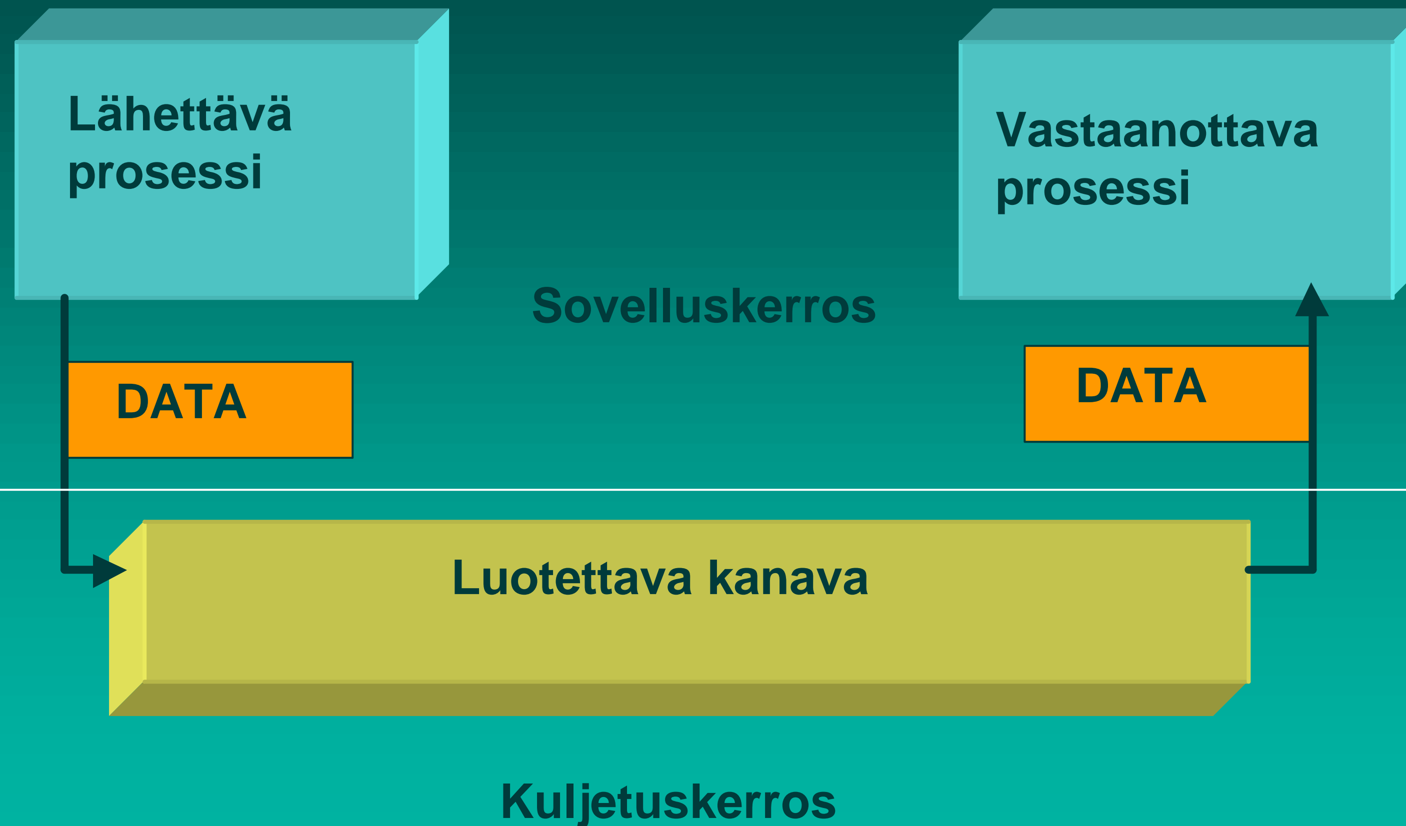
Tehtäviä:

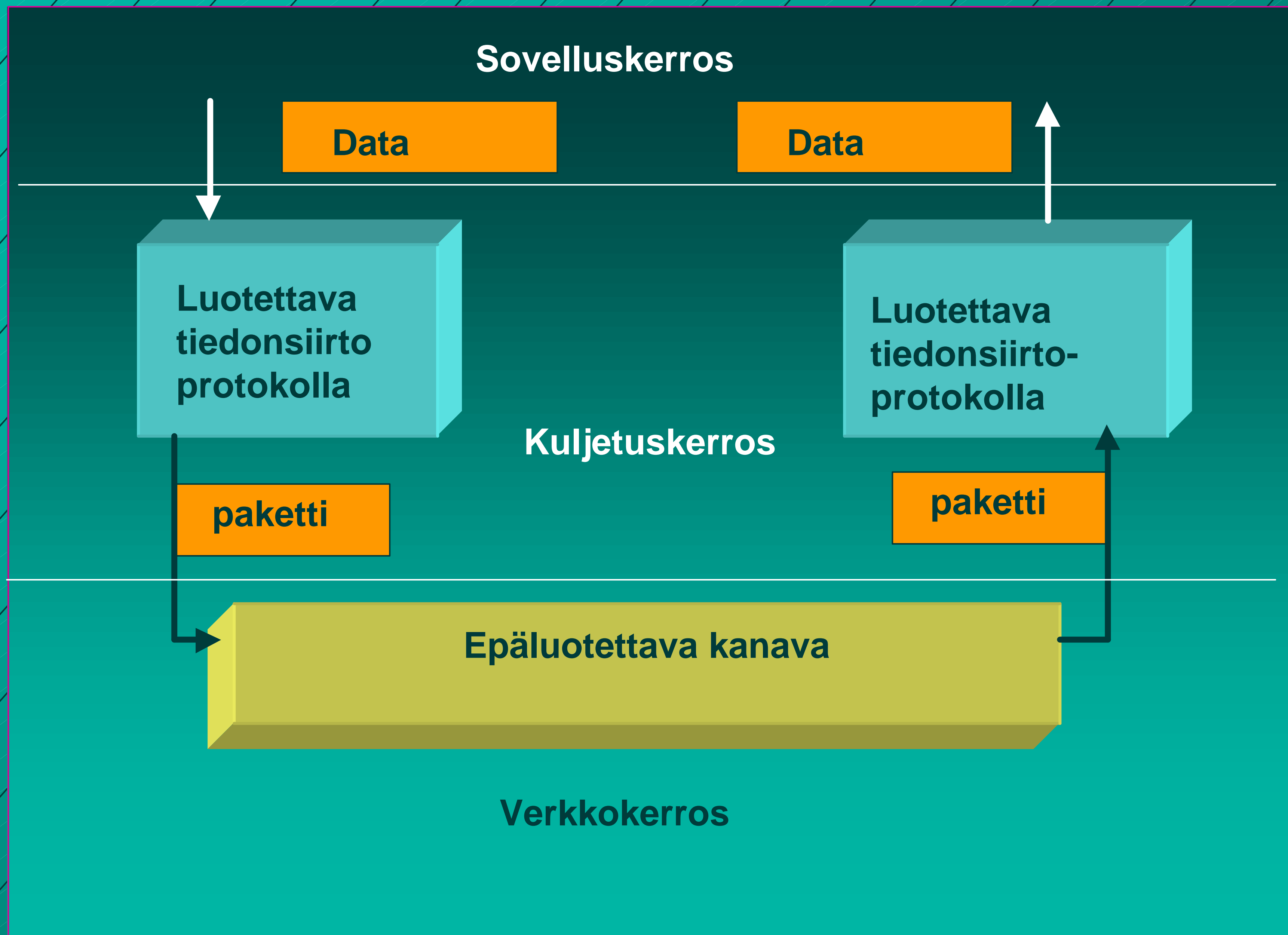
- Lähetetään 10 tavun viesti UDP:llä.
  - Miten kauan kestää lähettäminen, jos lähetysnopeus on 56 kbps?
  - Miten suuri on etenemisviive, jos etäisyys lähettäjältä vastaanottajalle on 1000 km?
  - Miten suuri on UDP-otsakkeen aiheuttama yleisrasite (overhead)?

UDP:n käyttö

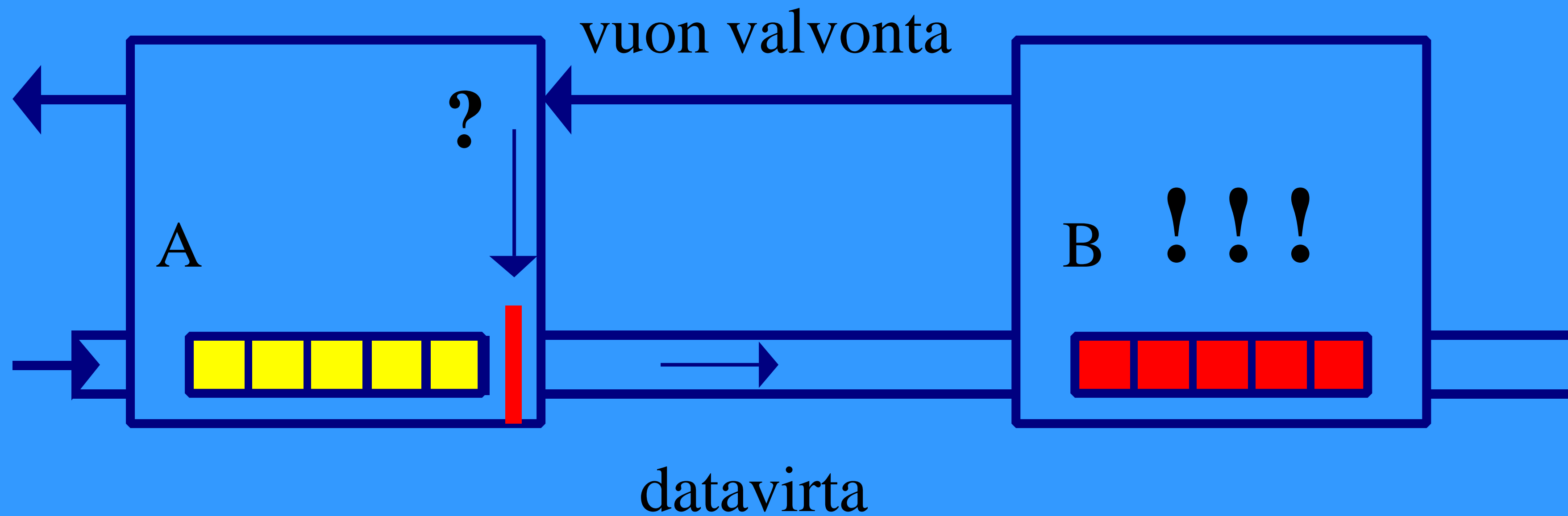
- Vaikka UDP on epäluotettava, se sopii monien sovellusten tarpeisiin:
  - Remote file server (NFS)
  - multimedia
  - Internet-puhelin
  - verkon hallinta (SNMP)
  - reititys (RIP)
  - nimipalvelu (DNS)
- Miksi nämä sovellukset suosivat UDP:tä?

3.4 Luotettava tiedonsiirto



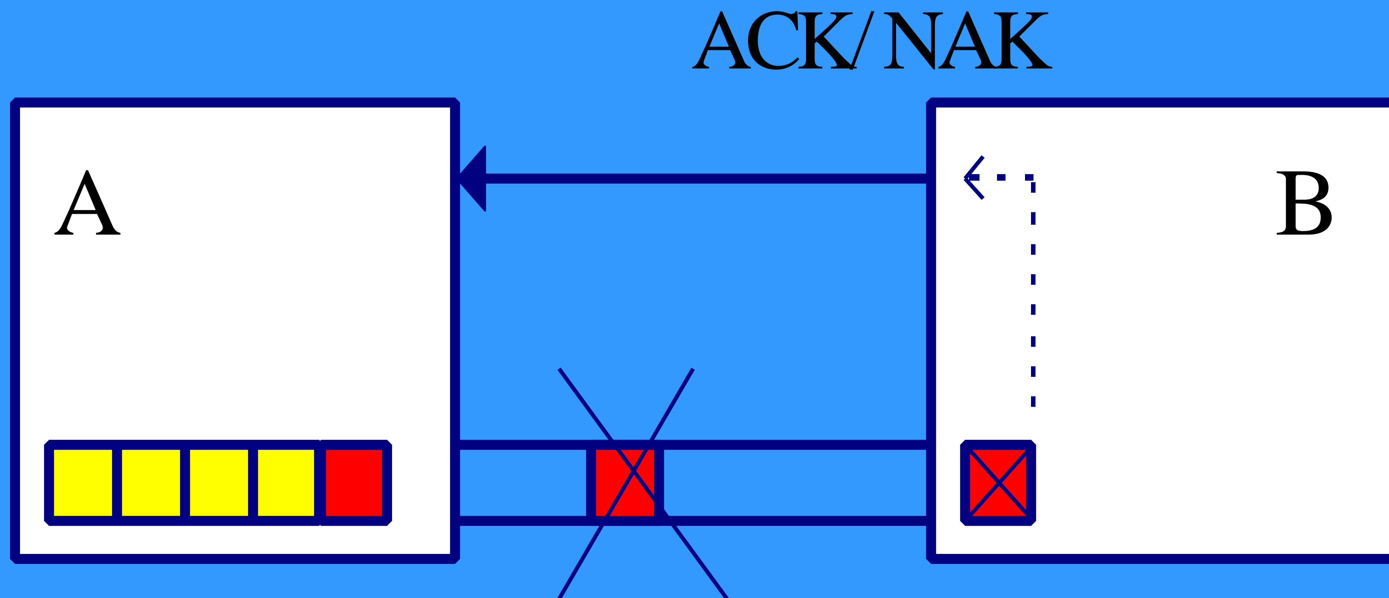

Sovelluskerros
Data
Data
Luotettava tiedonsiirto protokolla
Luotettava tiedonsiirto-protokolla
Kuljetuskerros
paketti
paketti
Epäluotettava kanava
Verkkokerros

Vuon valvonta



- X-ON / X-OFF : GO! | STOP!

Kohinainen kanava



- sanoma vääristyy => virhetarkistus
- sanoma katoaa => ajastin ja uudelleenlähetys
  - duplikaattien havaitseminen

Yksinkertainen **Stop and wait** -protokolla

- **Oletus**
  - virheetön siirto => ei huolta virheistä, mutta vuonvalvontaa tarvitaan
- **lähettäjä**
  - lähettää sanoman
  - odottaa lupaa lähettää seuraava sanoma
- **vastaanottaja**
  - käsittelee sanoman
  - lähettää tiedon (=antaa luvan) lähettäjälle

Entä jos virheitä?

- Sanomissa virheitä tai sanomat voivat puuttua kokonaan
- Myös kuittaukset voivat kadota
- Tarvitaan
  - virheen havaitseminen ja korjaaminen
    - tarkistussumma
    - kuittaus
    - uudelleenlähetys
  - sanomien numerointi
  - uudelleenlähetysajastin

Monimutkaisempi stop and wait -protokolla

- **ajastin lähettäjälle**
  - jos kuittausta ei kuulu, sanoma lähetetään automaattisesti uudelleen
  - **kuittaus: ACK =‘ok, lähetä seuraava’**
  - **uudelleenlähetys synnyttää kaksoiskappaleita!**
- **Sanomanumerointi**
  - jotta vastaanottaja tunnistaa kaksoiskappaleet
  - Miten paljon numeroita tarvitaan?
    - **Numero vie tilaa sanomassa!**

Stop and wait -protokollan suorituskyky

- Esim. satelliittiyhteydellä
  – 50 kbps, kiertoviive ~520 ms, sanoma 1000 bittiä
  – kanavan käyttöaste **< 4%**

- => lähetetään useita sanomia ja sitten vasta odotetaan kuittauksia
  – **ideaali: lähetykset liukuhihnalla (pipeline)**
    – **lähetykset ja kuittaukset limittyvät**
    – **ei mitään odottelua**
    – **lähetyskanava koko ajan käytössä**
  – **suorituskyky kasvaa**

Liukuvan ikkunan protokolla
(Sliding Window)

- **Lähetysikkuna**
  - **ikkunan koko**
    - montako sanomaa saa korkeintaan olla kuittaamatta
    - järkevä koko riippuu yhteyden tyypistä ja vastaanottajan kapasiteetista
  - **sisältö = mitkä sanomat saa lähettää**
    - sanomalla järjestysnumero
      - **rajallinen, N bittiä => 2**N arvoa**
      - **numerot käytettävä järjestyksessä**

- Lähettäjä joutuu odottamaan vasta, kun kaikki ikkunan sanomat on lähetetty
  - **eli numerot käytetty**
- Kun kuittaus saapuu => ikkuna liukuu
  - **seuraavat numerot tulevat luvallisiksi**
- **eli**
  - **lähettäjä: tietyllä hetkellä sallittujen numeroiden joukko = lähettäjän ikkuna**
    - **mitkä sanomat saa lähettää "etukäteen" odottamatta kuittausta**

- Vastaanottajan ikkuna
  - kullakin hetkellä sallittujen numeroiden joukko
    - mitä sanomia suostuu vastaanottamaan
  - kuittaus muuttaa myös vastaanottajan ikkunan
- ikkuna pysäyttää sanomien lähetyksen
    - seuraava sanomanumero ei ole lähetysikkunassa
- ikkuna estää sanoman vastaanoton
    - saadun sanoman numero ei ole vastaanottoikkunassa

Kun ikkunan koko on 1

- **Aina vain yksi sanoma kuittaamattomana**
  - **=> One Bit Sliding Window -protokolla**
  - **~ stop and wait -protokolla**
- sanomanumerot 0 ja 1 riittävät
- ACK-sanomassa viimeksi vastaanotetun virheettömän sanoman numero
  - **jotta kuittausduplikaatti ei voi kuitata väärää sanomaa**

- entä kun tapahtuu virhe?
  - kaksi eri tapaa hoitaa
  - toisto virheestä lähtien (go back n)
  - valikoiva toisto (selective repeat)

Paluu n:ään (‘Go back n’)

- virheellisen sanoman havaittuaan
  - vastaanottaja hylkää kaikkia sen jälkeiset sanomat
  - eikä lähetä niistä kuittauksia
- kun lähettäjä ei saa kuittauksia,
  - sen lähetysikkuna ‘täyttyy’
  - eikä se voi enää lähettää
- lähettäjän ajastimet laukeavat aikanaan ja
  - virheellinen sanoma
  - sekä kaikki sen jälkeen lähetetyt sanomat lähetetään uudelleen
- tehoton, jos paljon virheitä ja iso ikkuna

Valikoiva toisto

- vastaanottaja hyväksyy kaikki kelvolliset sanomat
  - se kuittaa sanomat
  - puskuroi ne ja toimittaa eteenpäin oikeassa järjestyksessä
    - » tarvitaan puskuritilaa
- lähettäjä ei saa kuittausta virheellisestä sanomasta
  - ajastin laukeaa ja sanoma lähetetään uudelleen
  - lähettää uudelleen vain virheellisen sanoman
  - ikkuna liukuu nytkin tasaisesti
    - » yksi puuttuva kuittaus voi pysäyttää lähetyksen

Kuittaukset

- ACK
  - kumulatiivinen ACK
    - tähän saakka kaikki ok!
    - Go-Back N
  - yksittäinen ACK
    - vain tämä ok!
- NAK-kuittaus
  - sanoma virheellinen tai puuttuu

Negatiiviset kuittaukset

- NAK-kuittauksilla voidaan nopeuttaa uudelleenlähettämistä
  - vastaanottaja ilmoittaa heti virheellisestä tai puuttuvasta kehyksestä
  - ei ole tarpeen odottaa ajastimen laukeamista
- hyödyllinen, jos kuittausten saapumisaika vaihtelee paljon
  - ajastinta vaikea asettaa oikein

- **NAK-kuittaukset voivat aiheuttaa turhia uudelleenlähetyksiä**
  - lähetys ja kuittaus menevät ristiin
- **NAK-kuittauksen katoaminen ei haittaa**

- **implisiittinen uudelleenlähetys**
  - ei NAK-kuittauksia
- **explisiittinen uudelleenlähetys**
  - käytetään NAK-kuittauksia

Ikkunankoko

- Kun käytetty numeroavaruus on 0, 1, .. n ja eri numeroita siis käytettävissä n+1
  - yleensä jokin kakkosen potenssi
- ikkunan koko ‘go back n’:ssä   voi olla korkeintaan n
- ikkunan koko valikoivassa toistossa voi olla korkeintaan (n+1)/2

Kaksisuuntainen liikenne

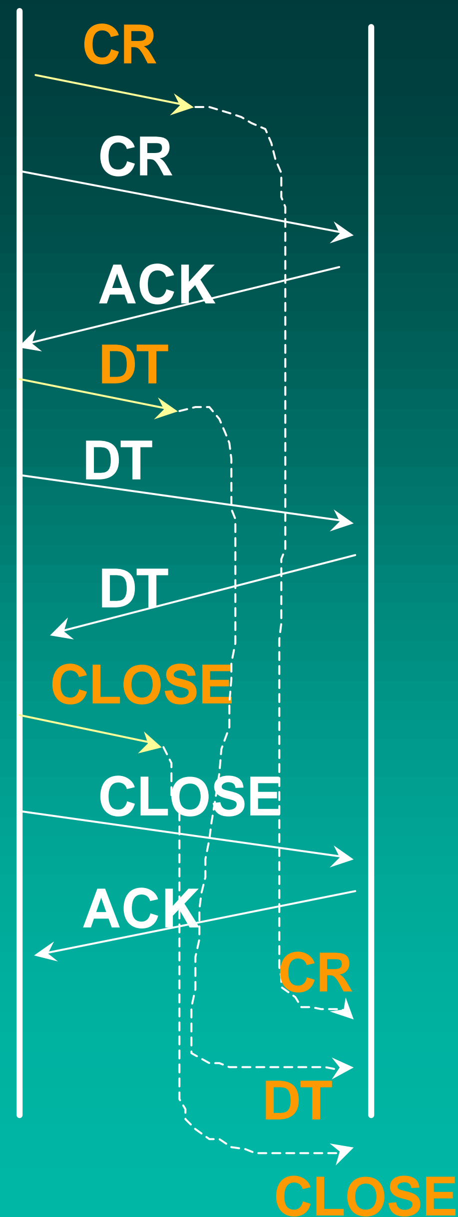
- datakehys ja kuittauskehys
- kehyksessä sekä data että kuittaus
  - ‘piggypacking’
  - tehostaa lähetystä
- ongelma: kauanko kuittaaja odottaa dataa ennen pelkän kuittauksen lähettämistä?

3.5. TCP-protokolla

- yhteyden muodostus ja purku
- luotettavan tavuvirran toteuttaminen
- vuonvalvonta
- siirron optimointi
- TCP-segmentti
- ruuhkan valvonta
- TCP-palvelun käyttö

6.2.2. Yhteyden muodostus ja purku TCP:ssä

- TCP käyttää yhteyden muodostamiseen ja purkuun ns. kolminkertaista kättelyä (three-way handshake)
  - välissä oleva verkko tekee yhteyden muodostamisen ja purun hankalaksi
    - viivästyneet sanomat => sanomille elinaika
    - sanomien numeroinnista sopiminen
  - Bysanttilainen ongelma (two-army problem)
    - "hyökkään, jos olen varma, että sinäkin hyökkäät"
    - symmetrinen yhteyden purku = molemmat osapuolet tietävät, että toinenkin on varmasti purkanut yhteyden



Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa

Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

Ne tulkitaan uudeksi yhteydeksi, ja data otetaan vastaan kahteen kertaan!

Kolminkertainen kättely

SYN =
tahdistus-
sanoma

SYN, Seqnro=x

yhteyspyynnössä
pyytäjän nro x

SYN+ACK,Seqnro=y,
ack=x+1

vahvistuksessa
sekä pyytäjän
että suostujan
järj.numero

ACK,Seqnro=x+1,
ack=y+1

ensimmäisessä
datalähetyksessä
molemmat
numerot

Yhteyden muodostus

#1 #2

Hyökätään aamulla kello 5!

OK, siis kello 5!

OK!

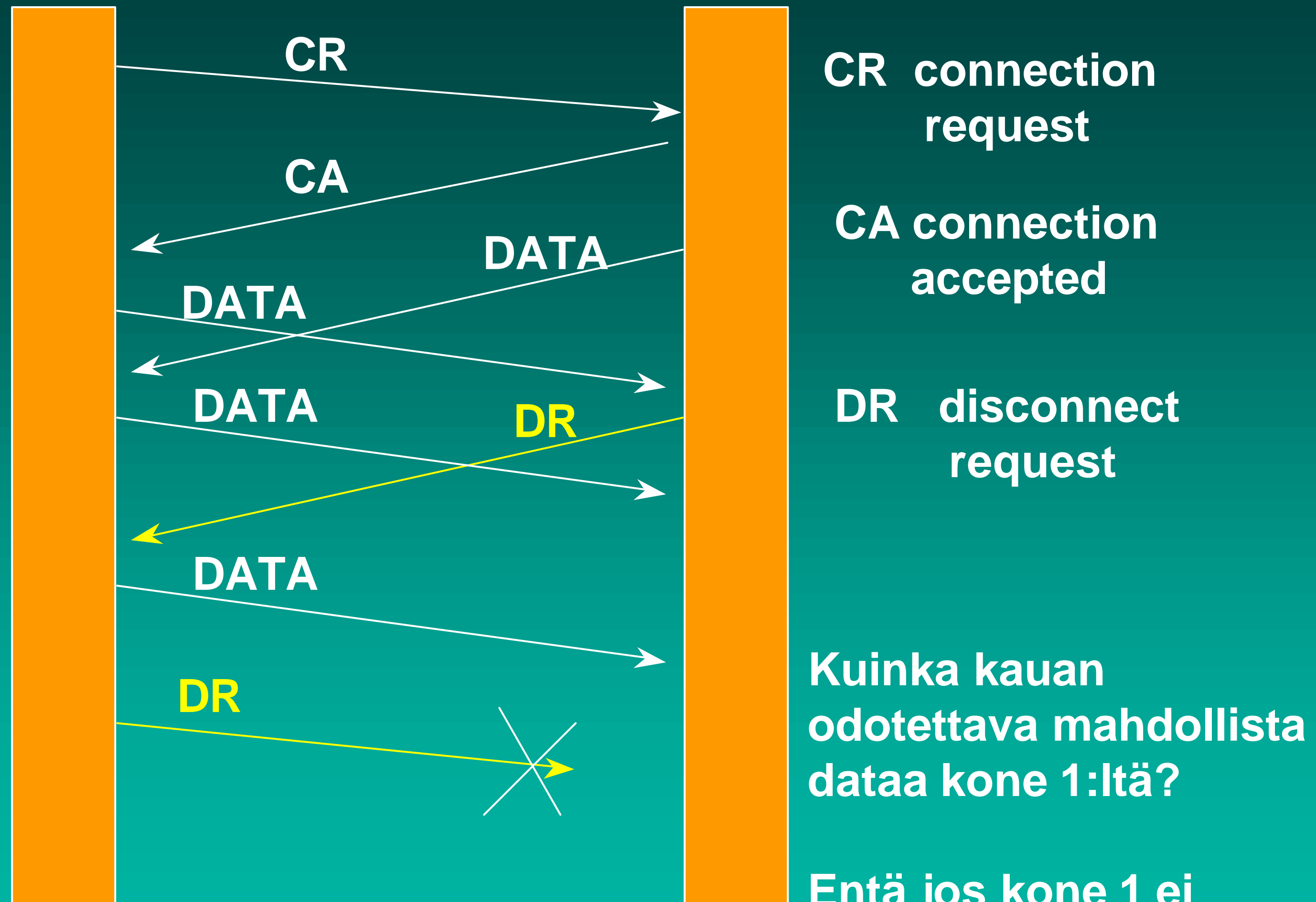
#2 hyökkää vain , jos tietää minun saaneen vastaussanoman.

Entä, jos vastaus ei mene perille?
Silloin #1 ei hyökkää!

Loogisesti ratkeamaton ongelma.
Kaikki riippuu aina viimeisestä sanomasta, jonka perillemenoa ei voida taata!

Bysanttilainen ongelma (two-army problem)

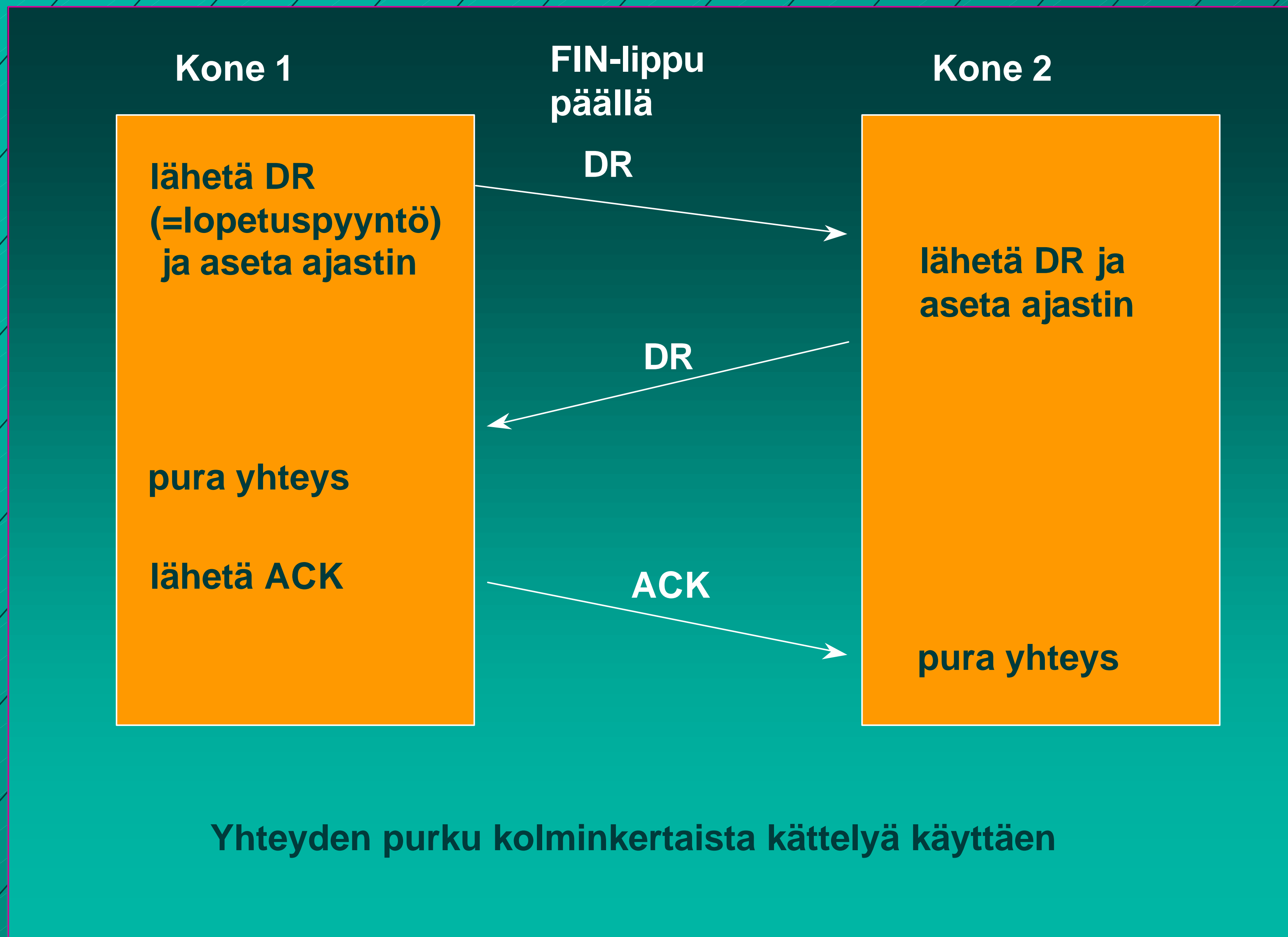
Kone 1 Kone 2



Symmetrinen yhteyden purku

Yhteyden purku

- molemmat suunnat puretaan erikseen
- TCP-segmentti
  - FIN = 1
  - ei enää dataa lähetettävä
  - kun saadan kuittaus => yhteys tähän suuntaan purettu
  - yhteys kokonaan purettu, kun molemmat suunnat purettu
- purussa käytetään ajastimia
  - 2 * paketin maksimaalinen elinikä


Kone 1
FIN-lippu
päällä
Kone 2
lähetä DR
(=lopetuspyyntö)
ja aseta ajastin
DR
lähetä DR ja
aseta ajastin
DR
pura yhteys
lähetä ACK
ACK
pura yhteys
Yhteyden purku kolminkertaista kättelyä käyttäen

Virheettömyys ja järjestys

- Järjestysnumerot
  - tavuvirta => tavunumerointi
  - segmentin 1. tavun järjestysnumero
  - yhteyden alussa satunnaiset numerot
- kuittaukset
  - kumulatiivinen ACK, ei NAK-kuittausta
  - kuittauksessa seuraavaksi odotettava tavu
  - kuitataan 'tiheästi'
    - vähintään joka toinen

- Go Back N -tyyppinen
  - virheellisiä tai väärässä järjestyksessä tulleita ei hyväksytä
    - ne voidaan myös tallettaa
  - mutta ei välttämättä lähetä kaikkia virheellisestä lähtien uudestaan
- Myös ehdotettu valikoivan toiston tyyppistä kuittaamista
  - SACK-kuitaus, joka kertoo, mitkä segmentit on vastaanotettu ok

Toistokuittaukset

- Ensikuittaus
  - tähän saakka kaikki OK!
  - ensimmäisen kerran saatava
- toistokuittaus (duplicate ACK)
  - väärässä järjestyksessä saatu segmentti tai virheellinen segmentti => toistetaan uudestaan jo annettu kuittaus
    - NAK-kuittauksen korvike
    - 3 toistokuittausta => segmentti kadonnut tai virheellinen

TCP:n vuonvalvonta

- ‘joustava’ liukuva ikkuna (sliding window) (credit-vuonvalvonta)
- vastaanottaja kertoo, kuinka paljon suostuu vastaanottamaan
  - => kuittaus irroitettu vuonvalvonnasta
    - AdvertisedWindow-kenttä
      - paljonko saa lähettää = paljonko vastaanottajan puskureihin mahtuu
- myös ruuhkan valvonta rajoittaa lähettämistä

Esimerkki

A

B

<ehdottaa 8 puskuria >

lupa vain
sanomille 0-3

<ack =0, buf = 4>

<seq = 0, data = m0 >

<seq = 1, data = m1 >

<seq = 2, data = m2 >

kuittaus sanomista
0 ja 1, lupa
sanomille 2- 4,

<ack = 1, buf = 3>

<seq = 3, data = m3 >

<seq = 4, data = m4>

puskurit käytetty,
A joutuu lopettamaan

Esimerkki jatkuu

A		B
ajastin laukeaa, uudelleen sanoma 2	<seq = 2, data = m2> →	kuittaa kaikki, mutta ei anna lupaa lähettää
	← <ack = 4, buf = 0>	
	← <ack = 4, buf = 1>	lupa lähettää yksi sanoma (= 5)
	← <ack = 4, buf = 2>	lupa lähettää kaksi sanomaa (= 5 ja 6)
lähettää sanoman 5	<seq = 5, data = m5> →	
lähettää sanoman 6	<seq = 6, data = m6> →	
	← <ack = 6, buf = 0>	kuittaa, mutta ei anna lähetyslupaa
jos lupa katoaa, jää odottamaan! ==> lukkiutumistilanne	← <ack = 6, buf = 4>	lähetyslupa sanomille 7-10

- jos ilmoitus lisäpuskureista katoaa, lähettäjä lukkiutuu odotustilaan
  - vastaanottaja voi luulla, ettei ole lähetettävää
- lukkiutumisen estämiseksi
  - kun ikkunankoko = 0 lähettäjä ei saa lähettää, paitsi
  - pikadataa (URG)
  - yhden tavun 'kyselyn', jonka vastaanottaja kuittaa ja samalla ilmoittaa ikkunan koon

  => estää turhat lukkiutumiset

Siirron optimointi

- TCP saa optimoida lähettämisiään
  - ei tarvitse lähettää heti kun data on tullut
  - dataa kerätään puskuriin ja lähetetään sopivassa tilanteessa
  - PUSH-lipun avulla sovellus ilmoittaa, että data on lähetettävä heti

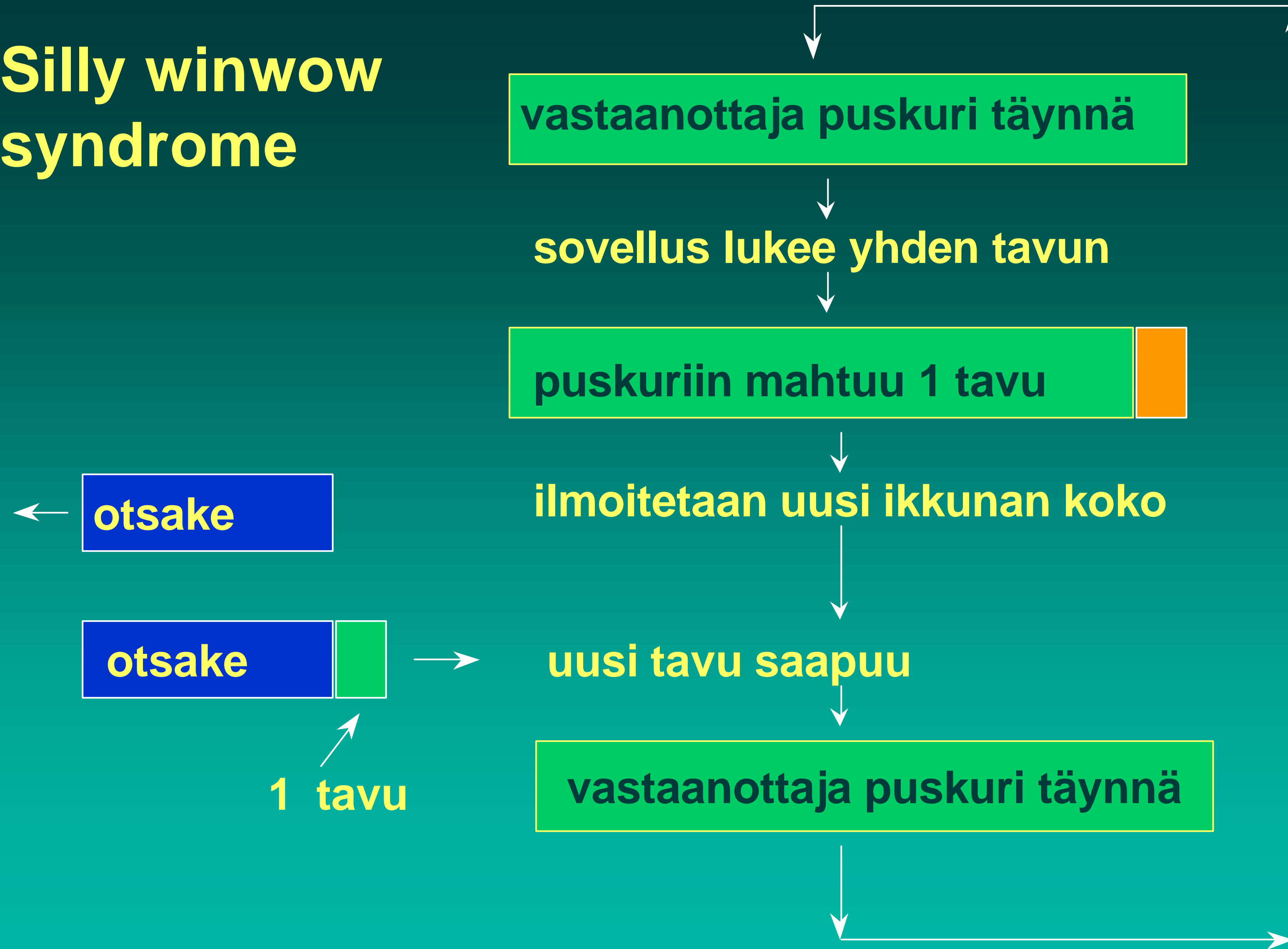
Optimointi on usein tarpeen:

- Interaktiivinen editori => merkki lähetetään heti
  - **21 tavun TCP-segmentti => 41 tavun IP-paketti**
  - **joka kuitataan 40 tavun IP-paketilla**
  - **ilmoitus uudesta ikkunan koosta 40 tavun IP-paketilla**
  - **kaiutetaan merkki vielä 41 tavun IP-paketilla**
  - yhden merkin käsittely =>
    - 162 tavun siirtäminen
    - ja neljän segmentin lähettäminen

- Ratkaisu: Naglen algoritmi
  - jos data tulee tavuttain
    - lähetä 1. tavu
    - kerää sitä seuraavat tavut puskuriin ja lähetä vasta kun edellinen lähetys on kuitattu
    - paitsi jos lähetettävää on suurimman segmentin verran tai puolet ikkunan koosta
  - hankala, jos hiirtä liikutellaan Internetin kautta!

Silly window syndrome

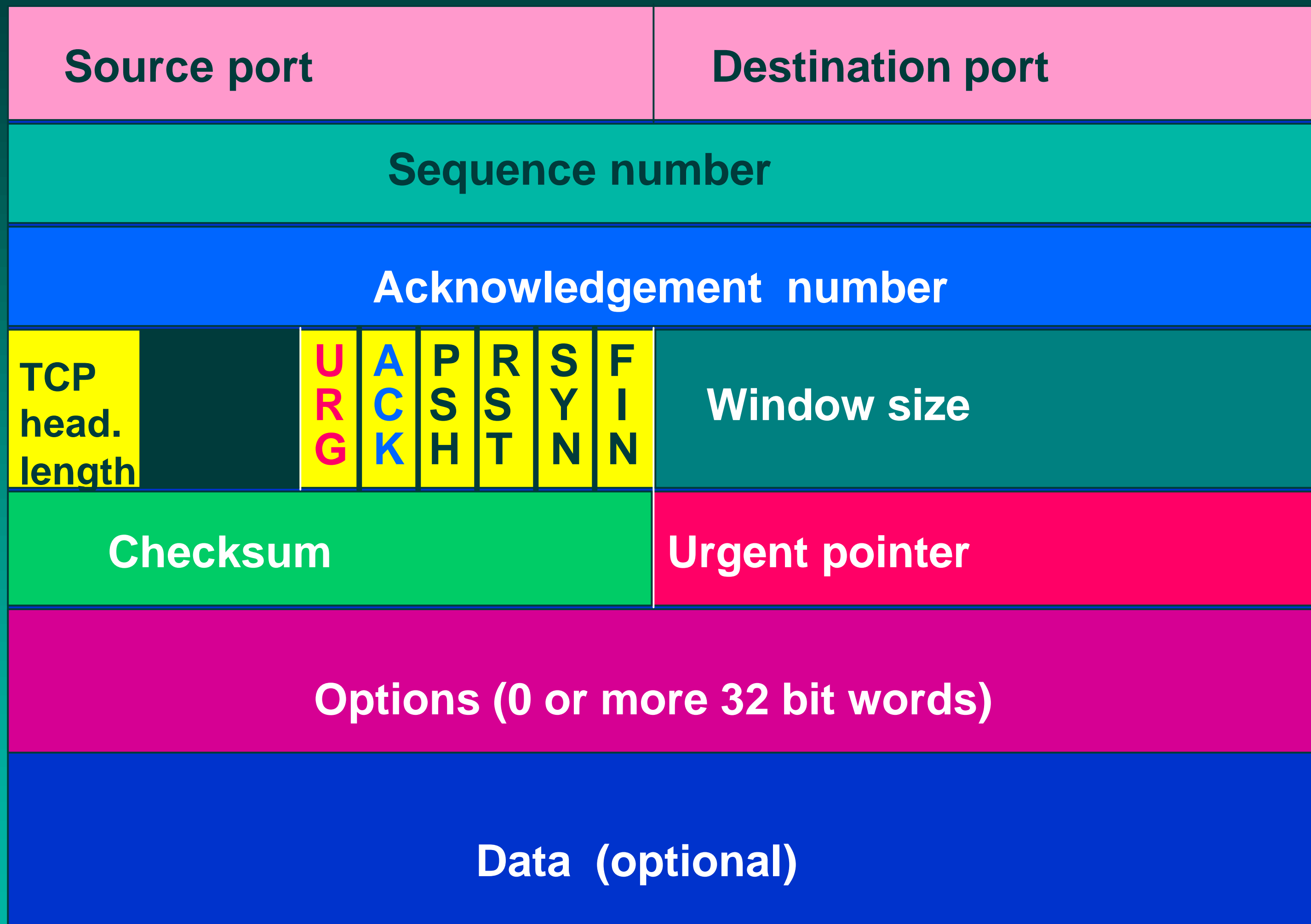
- Tilanteessa, jossa
  - lähettäjältä dataa TCP:lle suurina lohkoina
  - vastaanottajalle vain tavu kerrallaan
- voi tuhota TCP:n suorituskyvyn
  - koko data lähetetään tavu kerrallaan
  - joka tavun välissä ilmoitus ikkunan koon kasvattamisesta yhdellä
- Siis: ei ilmoitusta yhdestä tavusta, lähettäjä ei lähetä yhtä tavua
  - koko segmentti
  - puolet puskurin koosta


Silly winwow syndrome
vastaanottaja puskuri täynnä
sovellus lukee yhden tavun
puskuriin mahtuu 1 tavu
ilmoitetaan uusi ikkunan koko
otsake
otsake
uusi tavu saapuu
1 tavu
vastaanottaja puskuri täynnä

TCP-segmentti

- segmentti
  - 20 tavun otsake
    - + optionaalinen osa
  - dataosa
    - voi puuttua
- segmentin kokoa rajoittaa
  - MTU (Maximum transfer unit)
    - verkon rajoitus maksimikoolle (muutama tuhat tavua)
  - IP-paketin dataosa korkeintaan 65535 tavua
- liian isot segmentit paloitellaan
  - joka palalle IP-otsake => yleisrasite kasvaa

TCP-otsakkeen kentät



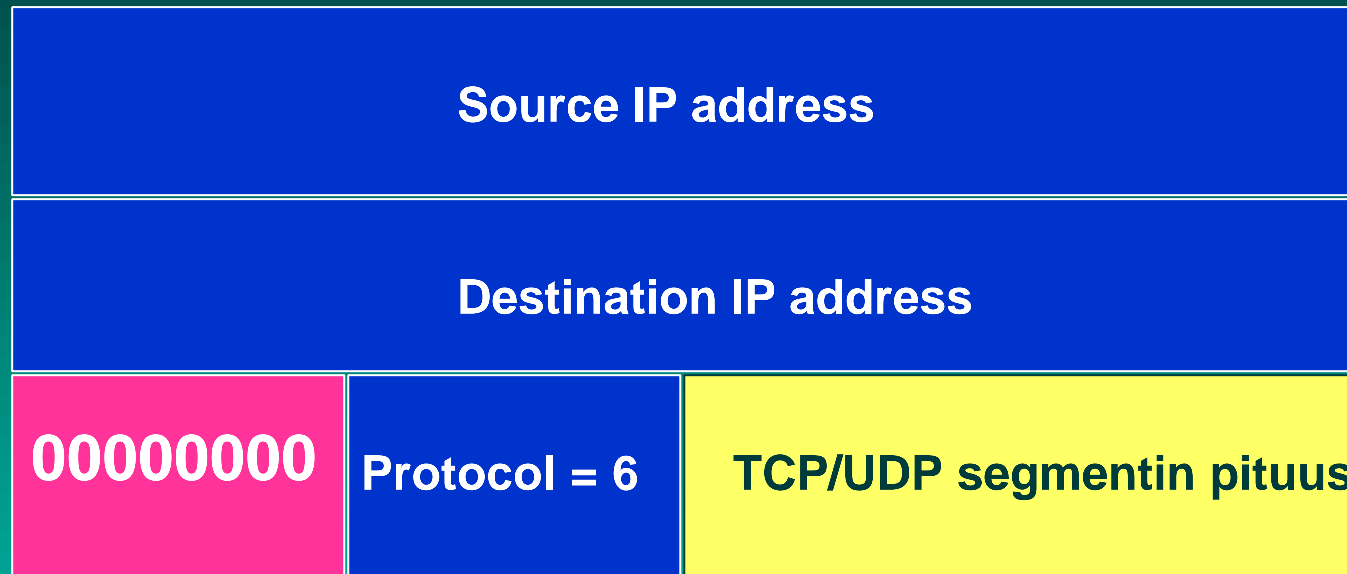
TPC-segmentin otsakekentät

- **Lähde- ja kohdeportit** (Source port, Destination port)
  - yhteyden päätepisteet
  - portti + koneen IP-osoite => 48 bittinen TSAP
- **Järjestysnumero** (Sequence number)
  - tavut numeroidaan => 32 bittiä
    - segmentin ensimmäisen tavun numero
- **Kuittausnumero** (Acknowledgement number)
  - seuraavaksi odotettu tavu
- **TCP-otsakkeen pituus** (TCP header length)
  - mahdollisten optiokenttien takia
- **6 bitin käyttämätön kenttä**

- **6 lippubittiä**
  - **URG** onko pikadataa
    pikadatan sijainnin ilmoittaa
    pikadatakenttä (Urgent pointer)
  - **ACK** onko kuittauskenttä käytössä
  - **PSH** onko hetilähetettävää (pushed) dataa
  - **RST** yhteyden uudelleenalustuspyyntö (reset),
    yleensä ongelmatilanne
  - **SYN** käytetään yhteyttä muodostettaessa
    SYN =1, ACK = 0 connection request
    SYN =1, ACK = 1 connection accepted
  - **FIN** käytetään yhteyden purkuun
    FIN =1 ei enää lähetettävää

- **Ikkunan koko** (window size)
  - vaihteleva ikkunankoko
  - kuittaus irroitettu lähetysluvasta
- **Tarkistussumma** (Checksum)
  - lasketaan otsakkeelle, datalle ja ns. pseudo-otsakkeelle

pseudo-otsake



Auttaa havaitsemaan väärään osoitteeseen toimitetut paketit.

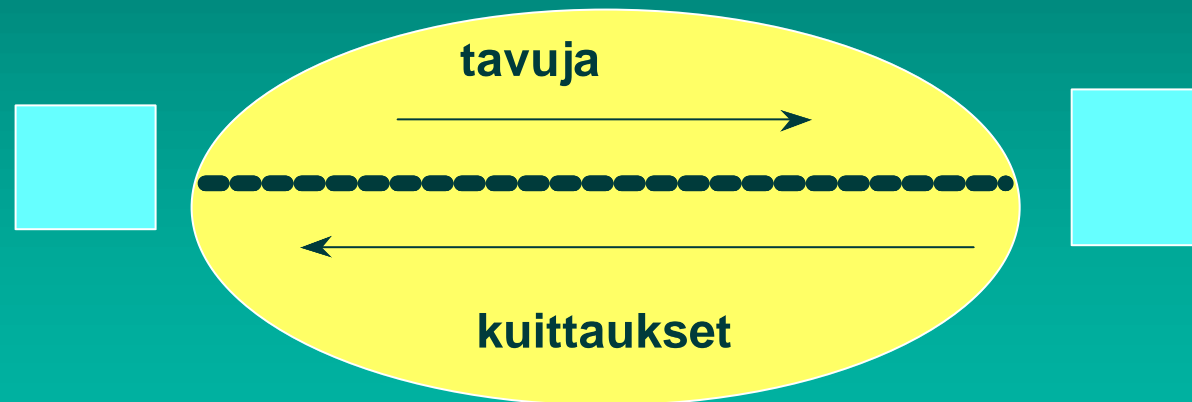
Sisältää IP-otsakkeen tietoja!

- **Optiokenttä** (options)
  - – voidaan lisätä piirteitä, joita ei ole varsinaisessa otsakkeessa
    - suurin hyväksyttävä datakenttä
    - ikkunan koon moninkertaistaminen (window scale)
      - – nopeille ja pitkän viipeen linjoille 64 ktavun ikkunan koko on liian pieni
    - valikoivan toiston käyttö ‘go back N’:n tilalla
      - – vähentää turhia uudelleenlähetyksiä

3.6. TCP:n ruuhkan valvonta

- Liikaa kuormitusta => verkko ruuhkautuu => hidastetaan lähettämistä
- Ruuhkan havaitseminen
  - nykyisin siirtovirheet harvinaisia
    - poikkeuksena langattomat verkot
  - => uudelleenlähetykset johtuvat ruuhkasta
    - uudelleenlähetysajastimen laukeaminen on merkki ruuhkasta

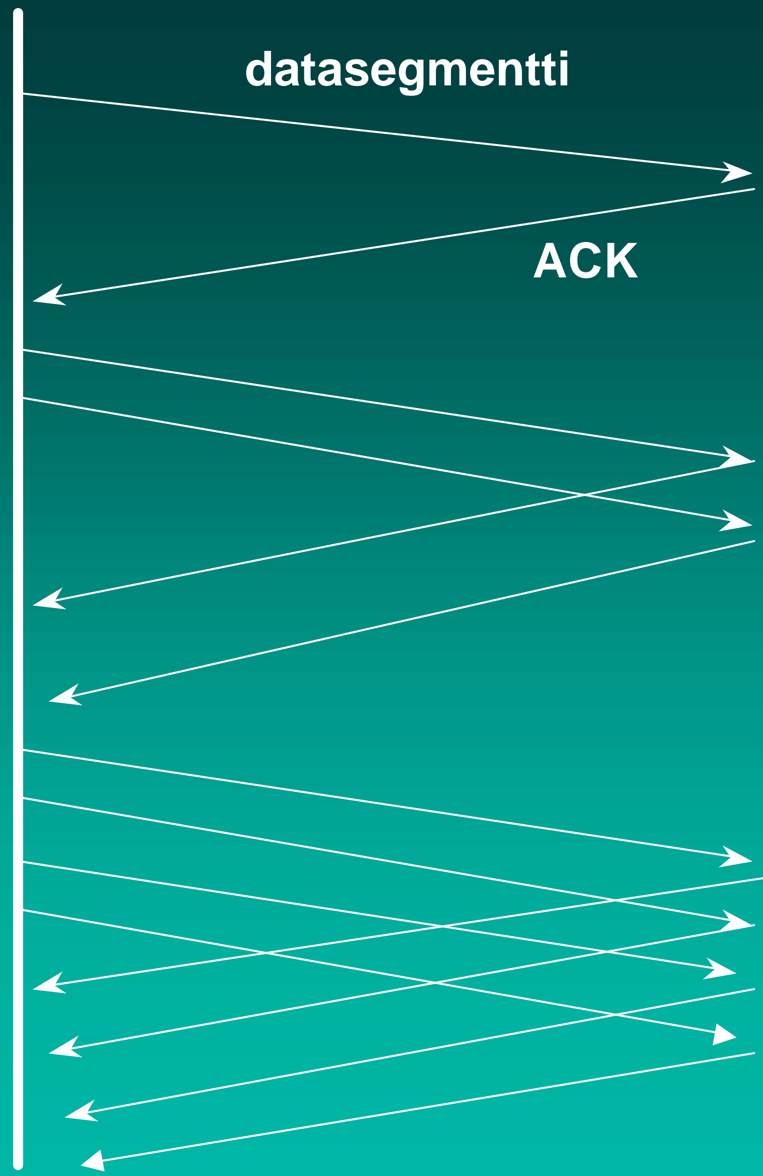
- ruuhkaikkuna
  - “paljonko tavuja (segmenttejä) lähettäjällä saa korkeintaan olla verkossa liikkeellä”
  - kuittaus => ko. tavut jo poistuneet verkosta



- Ruuhkaikkunan koko?
  - Lähettäjän on itse pääteltävä ja arvioitava sopiva ruuhkaikkunan koko
    - kukaan muu ei sitä kerro!
    - timeout => on ruuhkaa
    - kuittaukset tulevat tasaisesti => ei ole ruuhkaa
- Dynaaminen ruuhkaikkunan koko:
  - ruuhkaikkunaa kasvatetaan kunnes törmätään ruuhkaan
  - sen jälkeen ruuhkaikkunaa pienennetään reilusti
  - ja aletaan uudestaan kasvattaa ruuhkaikkunaa

Hitaan aloituksen algoritmi (slow start)

- Algoritmi pyrkii löytämään sopivan ikkunan koon yhteyden alussa tai ruuhkatilanteen jälkeen mahdollisimman nopeasti
  - ei ole niin kovin hidas, vaan alussa eksponentiaalinen!
  - alussa ruuhkaikkuna = yksi segmentti
  - kuitattu ruuhkaikkunallinen kasvattaa ruuhkaikkunan kaksinkertaiseksi


lähettäjä
datasegmentti
vastaanottaja
ACK

- kynnysarvo (threshold)
    - ‘varoitusarvo’ = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
    - aluksi 64 K
  - kynnysarvoon saakka voidaan kasvattaa ruuhkaikkunaa eksponentiaalisesti
  - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan ruuhkaikkunaa vain lineaarisesti
    - = kasvatetaan kuittausten jälkeen vain yhdellä
    - edetään hyvin varovaisesti!

- jos ajastin ehtii laueta => ruuhkatilanne
  - kynnysarvoksi puolet nykyisestä ruuhkaikkunan arvosta
  - hitaalla aloituksella etsitään taas uusi sopiva ruuhkaikkunan arvo
    - ruuhkaikkunan arvoksi 1 segmentti
    - ruuhkaikkunaa kasvatetaan aluksi eksponentiaalisesti eli kaksinkertaistetaan kun ikkunallinen on kuitattu
  - kynnysarvon saavuttamisen jälkeen kasvatetaan vain segmentti kerrallaan
  - kunnes taas havaitaan ruuhka ja aloitetaan ruuhkaikkunan uuden arvon etsiminen

Uudelleenlähetysjastimen hallinta

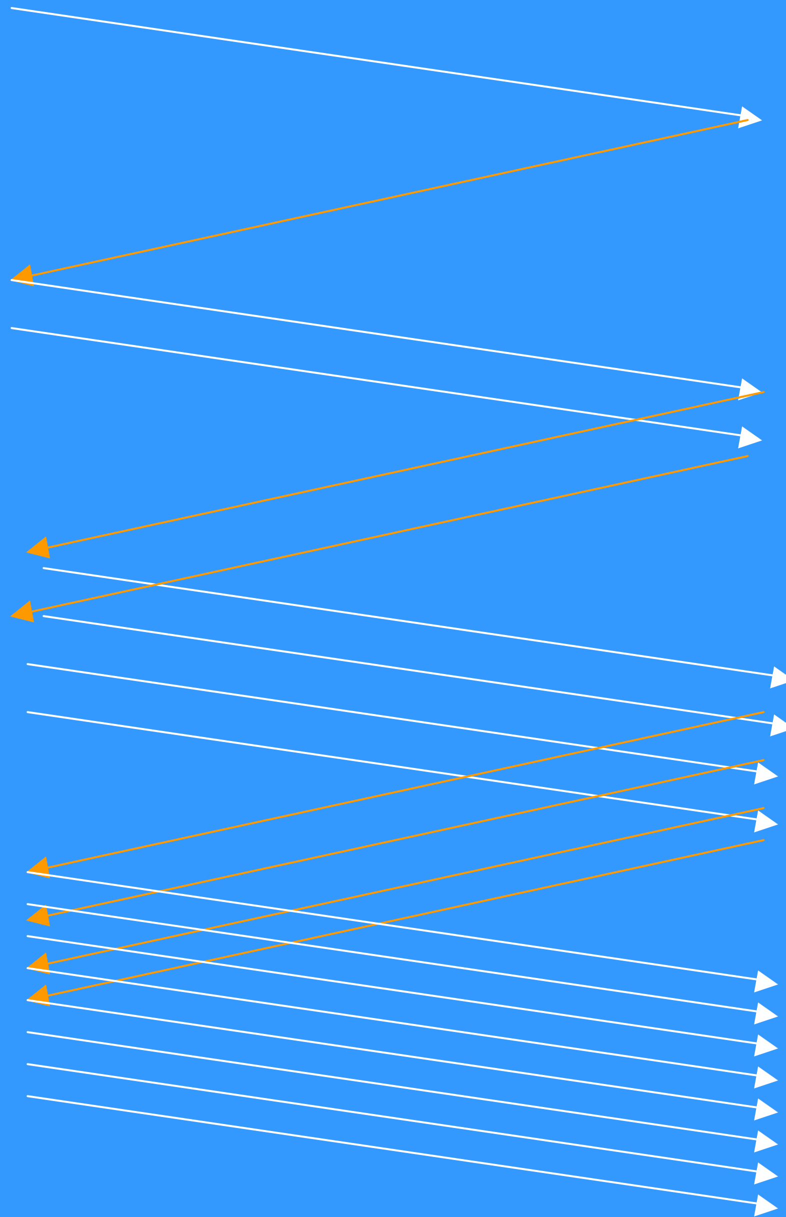
- uudelleenlähetysajastin (retransmission timer)
  - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- mikä on sopiva ajastimen aika?
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- dynaaminen arvo
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien perusteella

- RTT
  - arvio kiertoviiveelle (round-trip time)
  - mitataan jokaisen lähetetyn segmentin kiertoviive M

    $RTT = \alpha RTT + (1-\alpha)M$, tyypillisesti $\alpha = 7/8$
- uudelleenlähetysajastimen arvo βRTT
  - aluksi β oli aina 2
  - parannus: otetaan huomioon myös poikkeama D (deviation) oletetun ja saadun kiertoviiveen välillä |RTT-M|

    $D = \alpha D + (1-\alpha)|RTT-M|$
  - ajastimen arvo = RTT +4*D

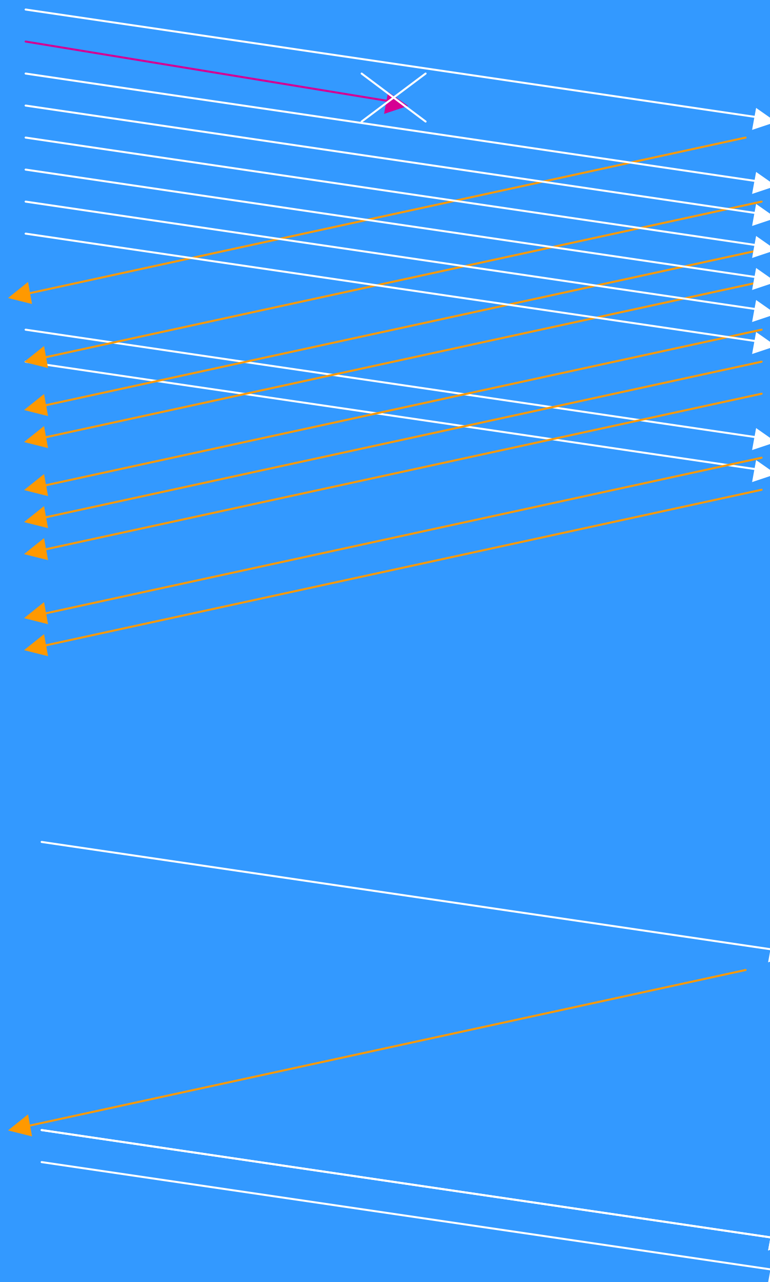
- uudelleenlähetysten vaikutus ajastimeen
  - kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?
- Karnin algoritmi
  - ei oteta huomioon uudelleenlähettyjen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa



Hidas aloitus:

Lähetysmäärä kasvaa eksponentiaalisesti

Ikkuna täyttyy ja lähettäjän täytyy odottaa kunnes kadonneen sanoman ajastin laukeaa



Sitten aloitetaan taas hitaalla aloituksella

Hidas aloitus:

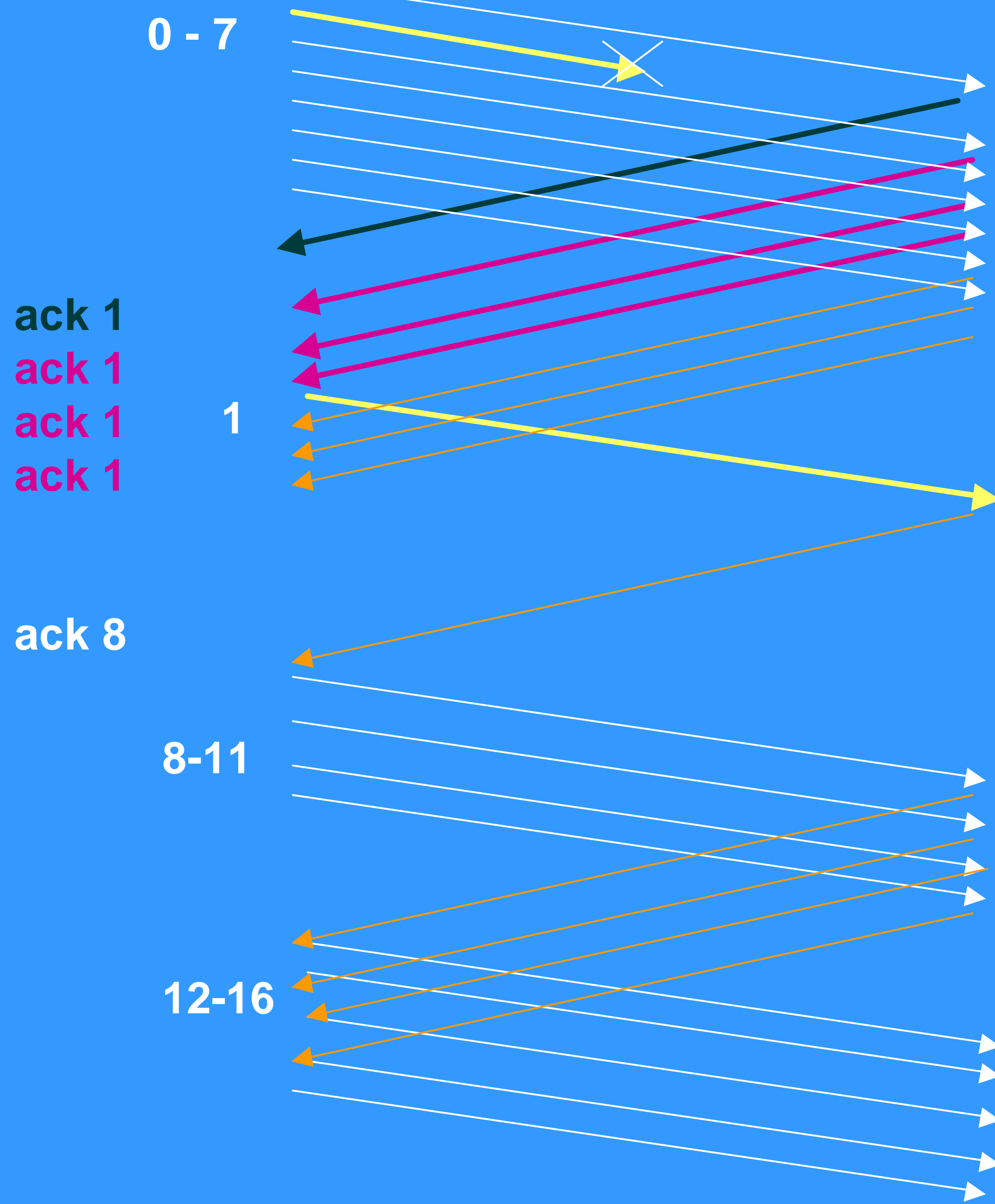
segmentti katoaa ja kuittausta ei tule

=> kadonneen segmentin ajastin laukeaa aikanaan

Parannuksia ruuhkanvalvontaan

- Nopea uudelleenlähetys (Fast Retransmit)
  - ei odoteta ajastimen laukeamista ennen uudelleenlähetystä
  - vastaanottaja kuittaa jokaisen paketin
  - kun vastaanottaja huomaa puuttuvan paketin, se lähettää uudelleen edellisen paketin kuittauksen
    - Duplicate ACK (~ NAK)
  - kun lähettäjä saa useita (3) peräkkäisiä saman paketin toistokuittauksta=> se havaitsee tästä paketin puuttuvan ja lähettää sen heti uudelleen
  - => nopeampi uudelleenlähetys

- Nopea toipuminen (Fast Recovery)
  - kun kadonnut paketti huomataan nopealla toipumisella ei aloiteta alusta hitaalla aloituksella
    - vaan pudotetaan ruuhkaikkuna puoleen
    - ja jatketaan normaalilla lineaarisella kasvattamisella



Nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen: kolmen toistokuittauksen jälkeen lähetetään ‘pyydetty’ segmentti uudestaan

ruuhkaikkuna puolitetaan (8 => 4) ja lähetystä jatketaan kasvattamalla lähetysmäärää lineaarisesti

- hidas aloitus ja ruuhkan valvonta ongelmallisia langattomassa yhteydessä
- parannuksia
  - tarkempi kello
  - ruuhkan ennustaminen ennen ajastimen laukeamista
  - early warning system
  - => 40-70 % parempia tuloksia

TCP langattomassa verkossa

- monet TCP-toteutukset optimoitu luotettaville lankaverkoille => suorituskyky langattomissa verkoissa erittäin huono
  - ruuhkanvalvonta-algoritmi olettaa ajastimen laukeamisen johtuvan ruuhkasta
    - lähettämistä hidastetaan, jotta verkon kuormitus pienenisi ja ruuhkaa ei syntyisi
  - langattomat yhteydet ovat epäluotettavia ja paketteja katoaa
    - kadonneet paketit syytä lähettää nopeasti uudelleen
    - lähetystä pitäisi päinvastoin nopeuttaa!

TCP-yhteyden hallinta

- yhteys muodostetaan kolminkertaisella kättelyllä
- passiivinen osapuoli kuuntelee
  - SOCKET
  - BIND
  - LISTEN
  - ACCEPT
- aktiivinen osapuoli aloittaa yhteydenmuodostuksen
  - CONNECT

- CONNECT-primitiivi
  - parametreina
    - IP-osoite ja porttinumero
    - suurin hyväksyttävä segmentin koko
    - muuta tietoa, esim. salasana

- TCP-segmentti, jossaSYN-segmentti
  - SYN = 1
  - ACK = 0

client proc

server proc

SOCKET

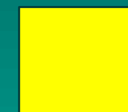
CONNECT

SOCKET
LISTEN
ACCEPT

Asiak-
kaan
pistoke

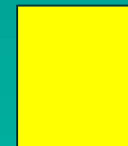
Kolminkertainen kättely =

TCP-yhteyden muodostus



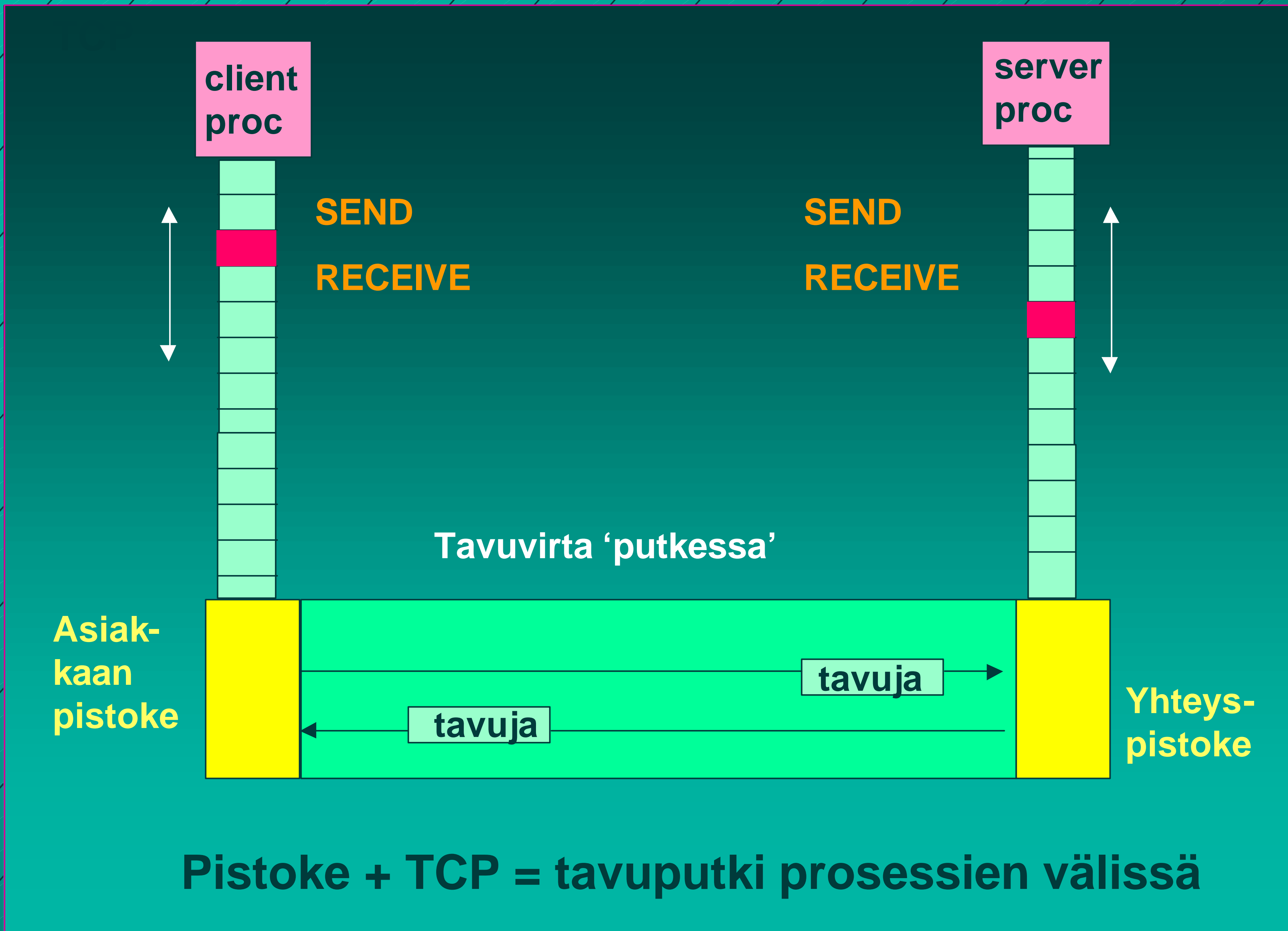
Yhtey-
denotto
pistoke

Datan siirto



Yhteys-
pistoke

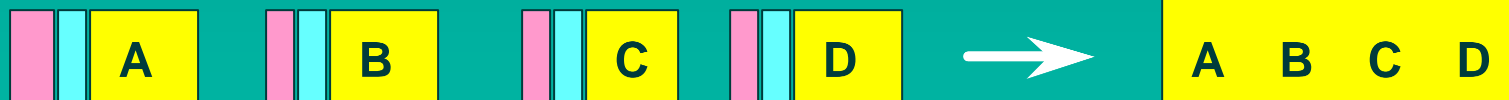
TCP-yhteyden muodostaminen


client proc
server proc
SEND
RECEIVE
SEND
RECEIVE
Tavuvirta ‘putkessa’
Asiak-
kaan
pistoke
tavuja
tavuja
Yhteys-
pistoke
Pistoke + TCP = tavuputki prosessien välissä

- TCP-yhteys on tavuvirtaa, ei sanomavirtaa
  - – lähetettäessä neljä 512 tavun pätkää vastaanottaja saa joko
    - neljä 512 tavun pätkää
    - kaksi 1024 tavun pätkää
    - yhden 2048 tavun pätkän

Segmentit lähetetään neljänä eri IP-pakettina

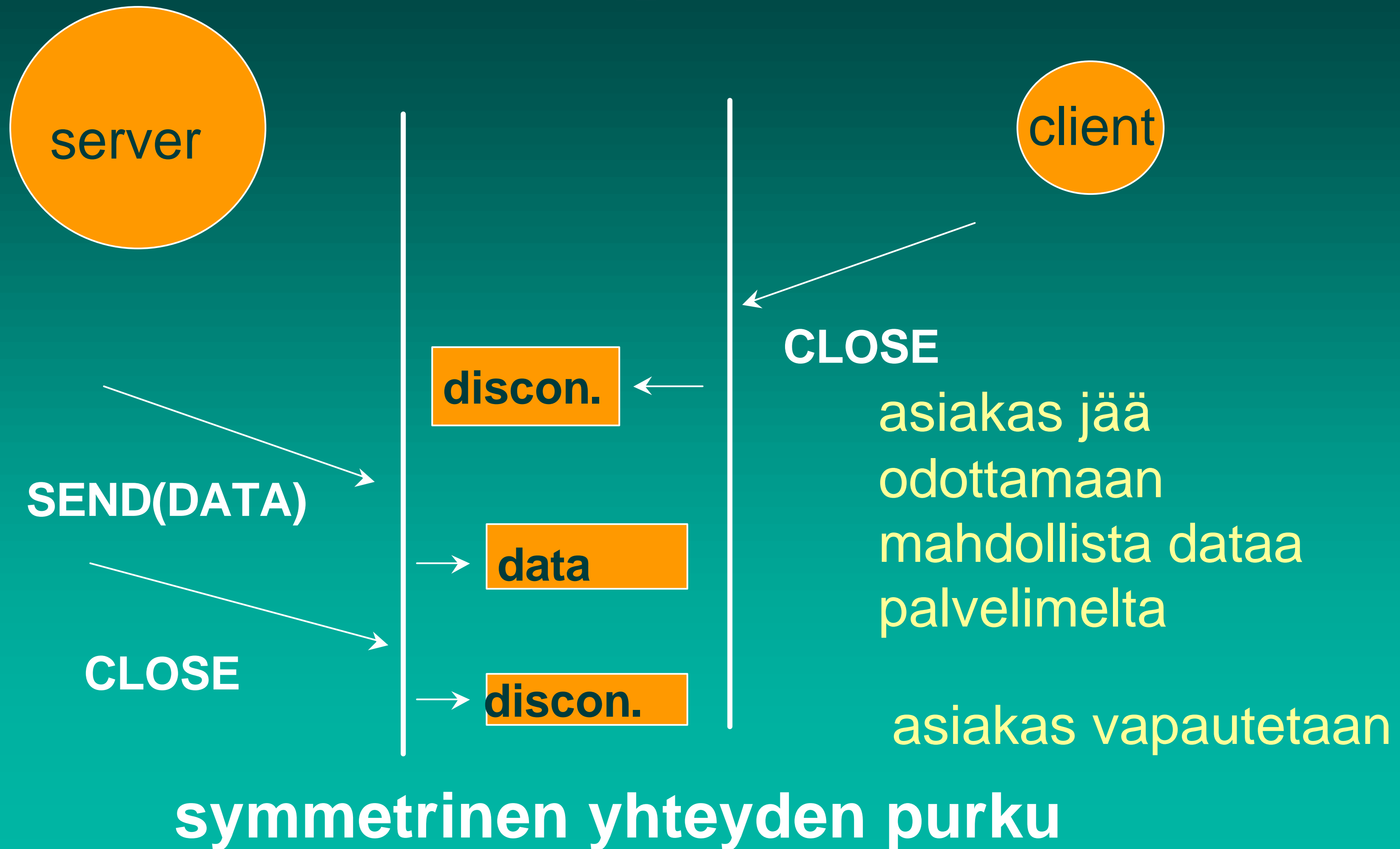
Ne luovutetaan vastaanottajalle yhdellä READ-kutsulla



neljä 512 tavun segmenttiä

yksi 2048 tavun data

yhteyden purkaminen



C-rutiineina

```
int socket(int domain, int type, int protocol)
```

palvelin:

```
int bind (int socket, struct sockaddr *address,
          int addr_len)
int listen(int socket, int backlog)
int accept(int socket, struct sockaddr *address,
           int  *addr_len
```

asiakas:

```
int connect (intsocket, struct sockaddr *address,
             int addr_len)
```

int send(int socket, char *message, int msg_len, int flags)

sanoman lähetys annetun pistokkeen kautta

int recv(int socket, char *buffer, int buf_len, int flags)

sanoma vastaanotto annetusta pistokkeesta ilmoitettuun puskuriin

Pistokeohjelmointia Javalla

- Socket clientSocket = new Socket(“hostname”, 6789);
- clientSocket.close();
- ServerSocket welcomeSocket = new Server Socket (6789);
- Socket connectionSocket = welcomeSocket;
- accept()

- (esimerkki kirjassa Kurose, Ross, Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Interbet)

Pistokeohjelmointi

- Pistokeohjelmointia ja yleensä hajautettujen verkkosovellusten tekemistä opetellaan erillisellä kurssilla
  - **Verkkosovellusten toteuttaminen**

    (järjestetään seuraavan kerran keväällä 2002)