

# 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

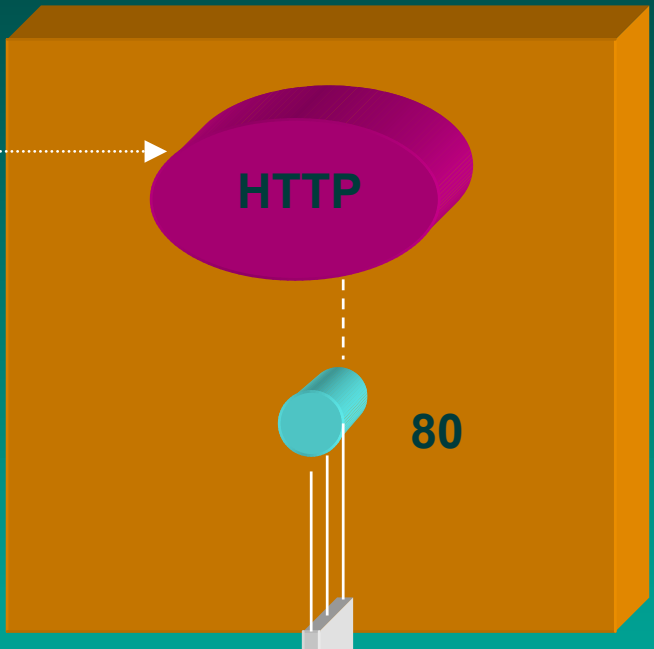
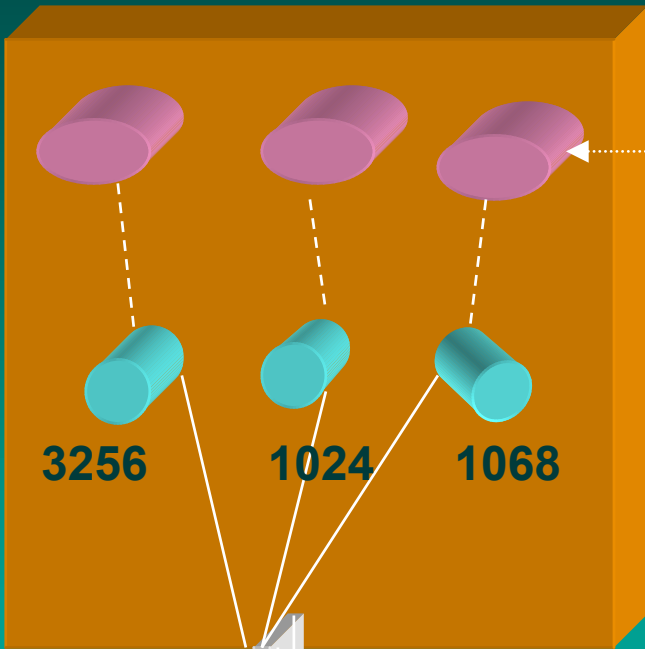
# Sovelluksien datavirtojen erottaminen

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

**asiakas-prosesseja**

**kuljetus-  
yhteys**

**palvelinprosessi**



**porteja  
(portti-  
numero)**

**218.48.15.135**

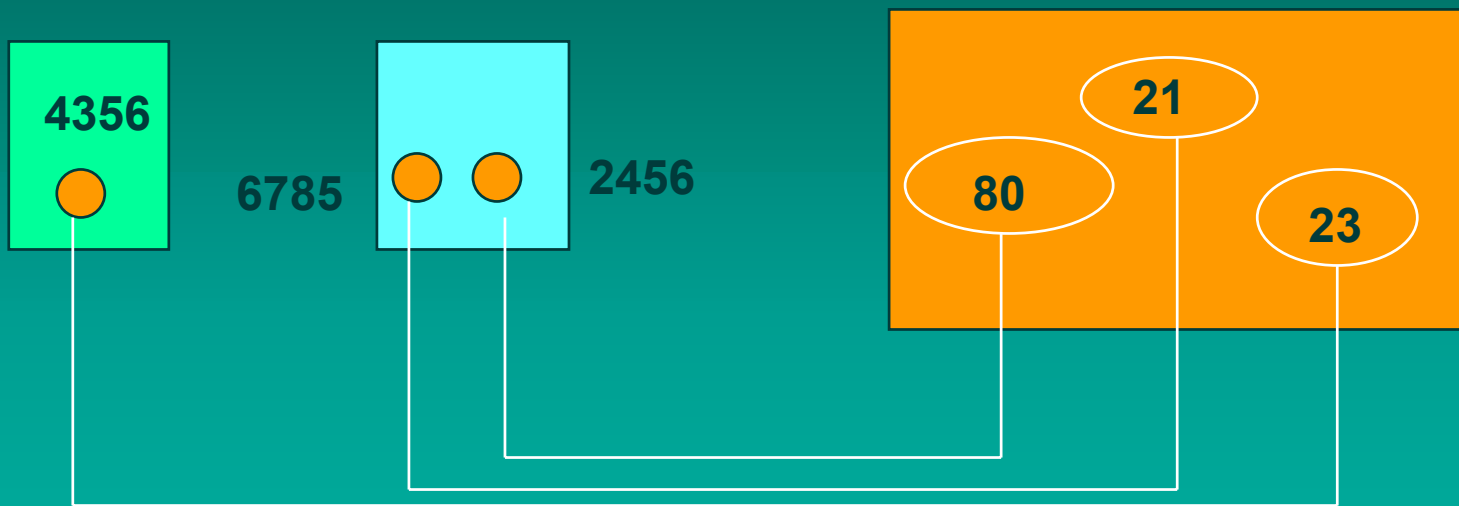
**218.52.7.45**

**verkkoyhteys**

**Kuljetusyhteys on looginen prosessilta prosessille yhteys (end-to-end)**

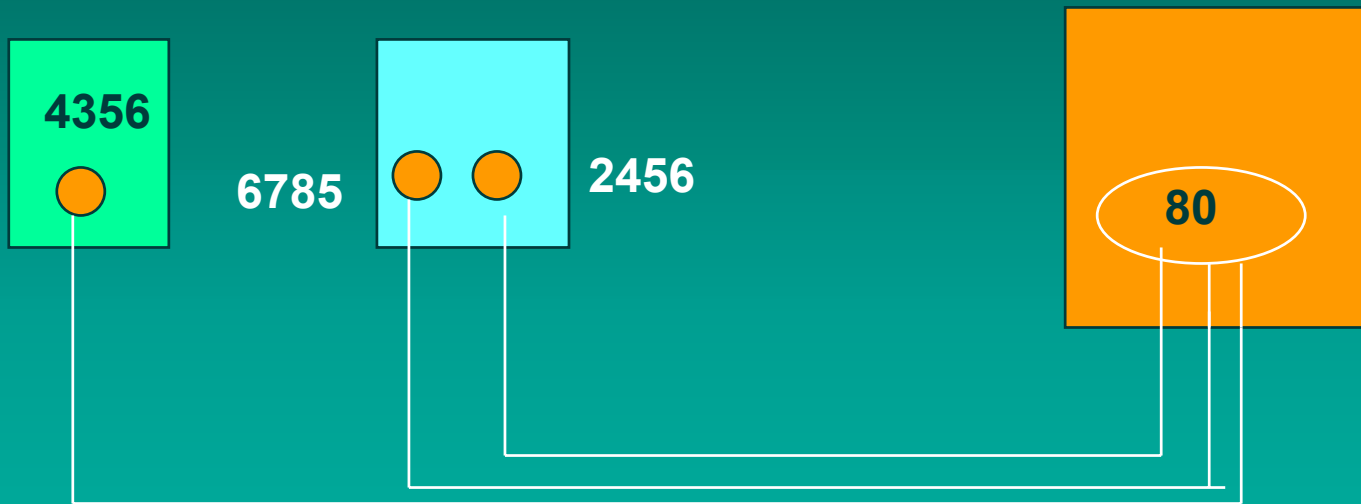
Asiakkaalle kuljetuskerros usein  
automaattisesti antaa käyttöön jonkin  
vapaan porttinumeron yhteyden ajaksi

Palvelimilla kiinteät  
numerot yhteydenottoa  
varten



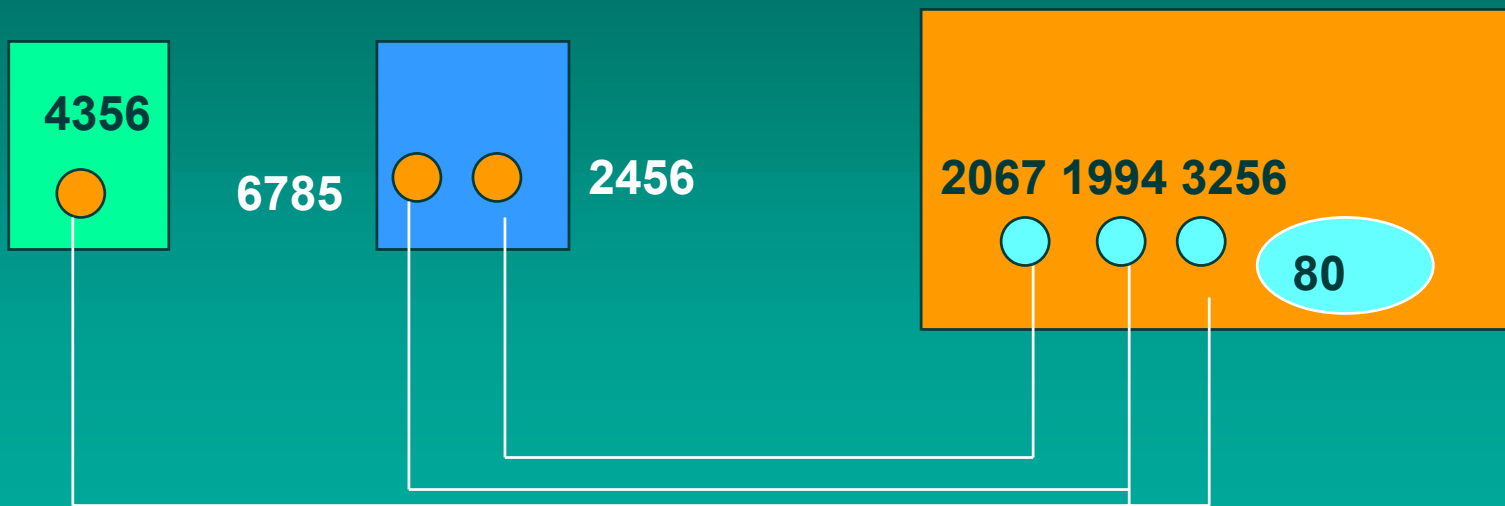
Kolme yhteyttä: 4356  $\Leftrightarrow$  23, 6785  $\Leftrightarrow$  21, 2456  $\Leftrightarrow$  80

# Tarvitaan sekä lähteen että kohteen porttinumerot



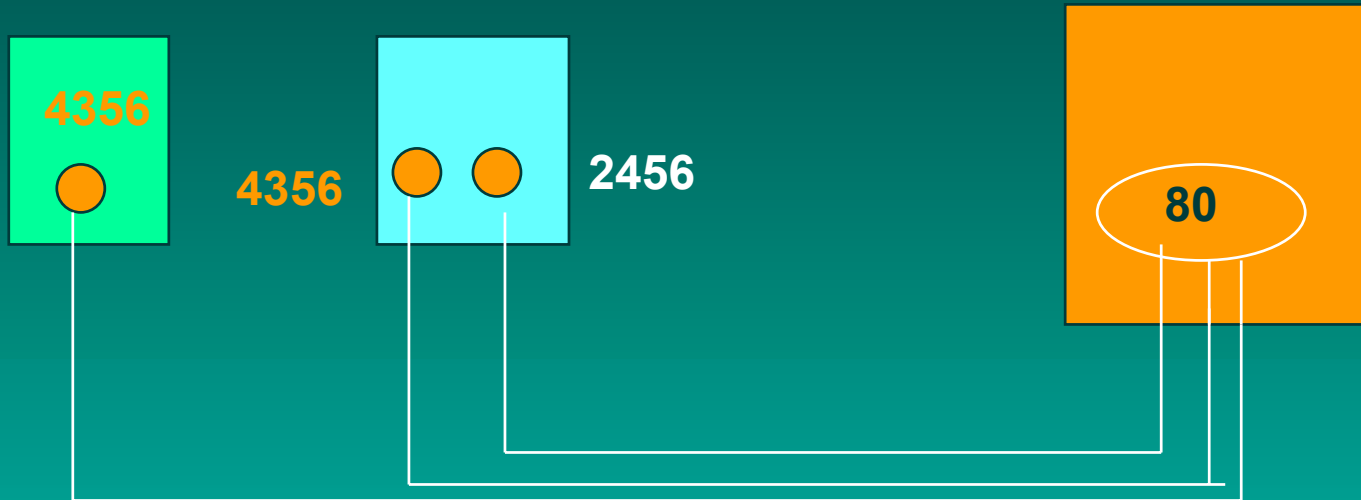
Kolme yhteyttä:  $4356 \Leftrightarrow 80$ ,  $6785 \Leftrightarrow 80$ ,  $2456 \Leftrightarrow 80$

Palvelimessa yhteyksille uudet porttinumerot, jotta portti 80 voi ottaa vastaan uusia yhteyspyyntöjä



Kolme yhteyttä: 4356 <=> 3256, 6785 <=> 1994, 2456 <=> 2067

# Eri koneissa voidaan ottaa sama numero!



**Kolme yhteyttä:  $4356 \Leftrightarrow 80$ ,  $4356 \Leftrightarrow 80$ ,  $2456 \Leftrightarrow 80$ !**

**Kuljetusyhteydellä käytetään apuna myös IP-osoitetta:**

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

## Sovelluksen vaatimuksia kuljetuspalvelulle:

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

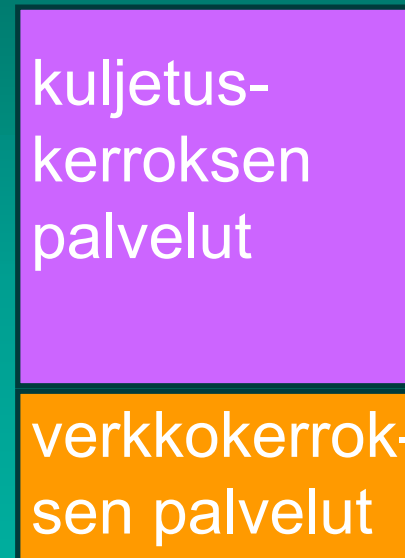
## Verkkokerros kuitenkin voi

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



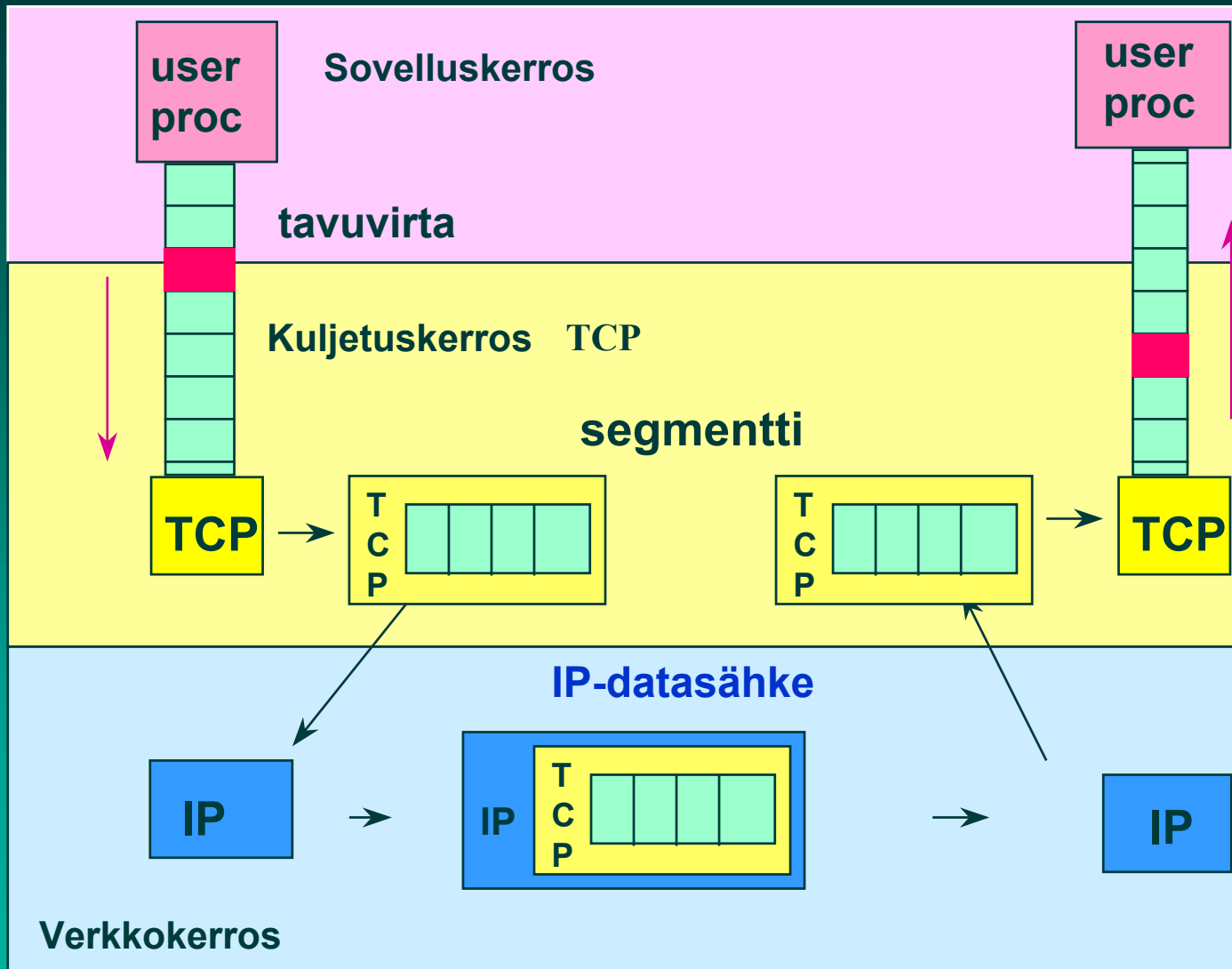
# kuljetuspalvelut parantavat verkkopalveluja

Sovelluksen näkemä palvelun laatu  
(Quality of Service, QoS)



# Internetin kuljetuskerros

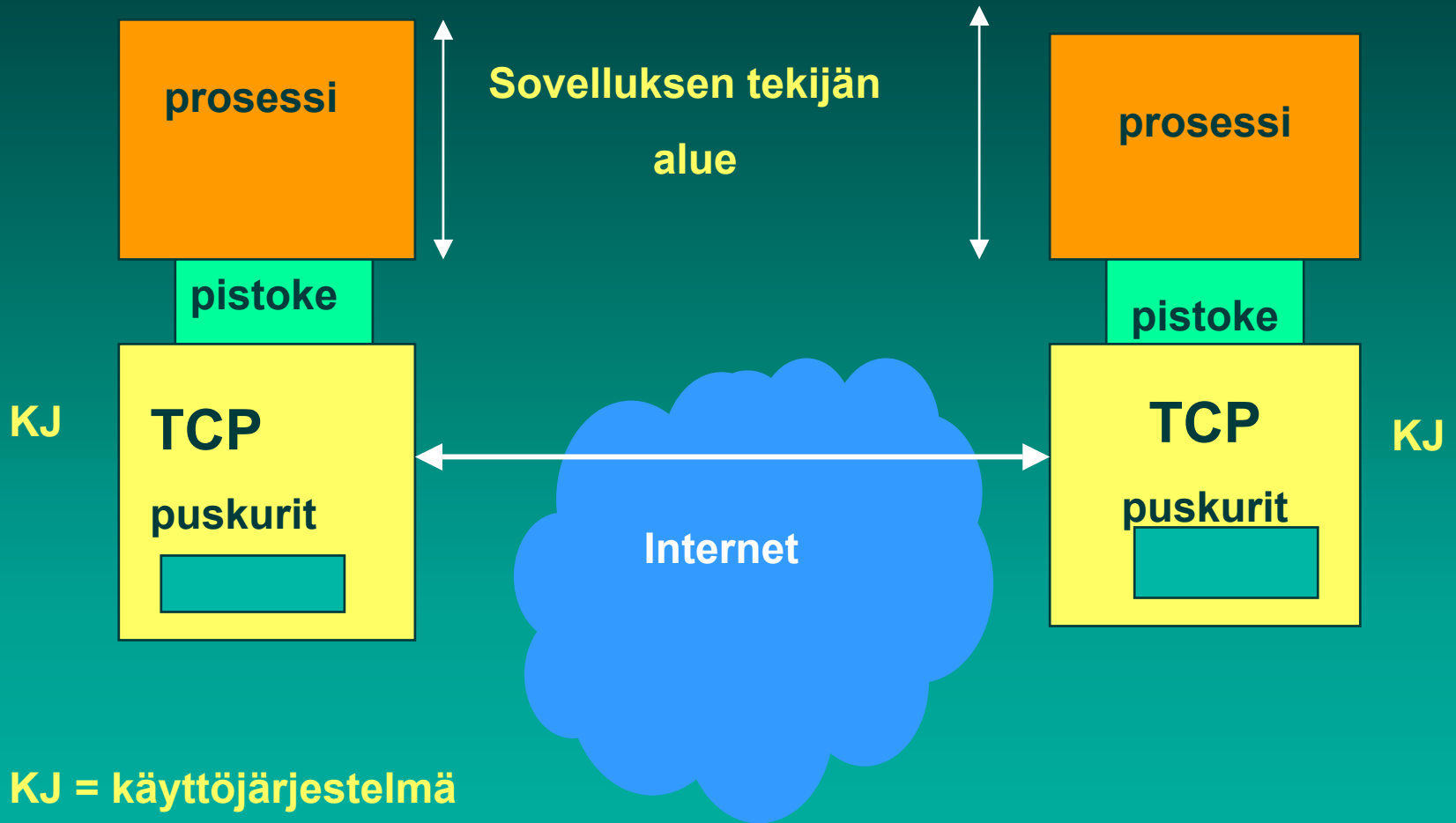
- UDP (User Datagram Protocol)
  - yhteydetön, epäluotettava palvelu
- TCP (Transmission Control Protocol)
  - yhteydellinen, luotettava palvelu
    - virhevalvonta
      - havaitsee ja korjaa siirrossa syntyneet virheet
    - vuonvalvonta
      - ei ylikuormita vastaanottajaa
    - ruuhkanvalvonta
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



**TCP: prosessilta prosessille - tavuvirta**

# 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



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
- tunnustetaan päätepisteinä olevien pistokkeiden tunnuksista (pistoke1, pistoke2)

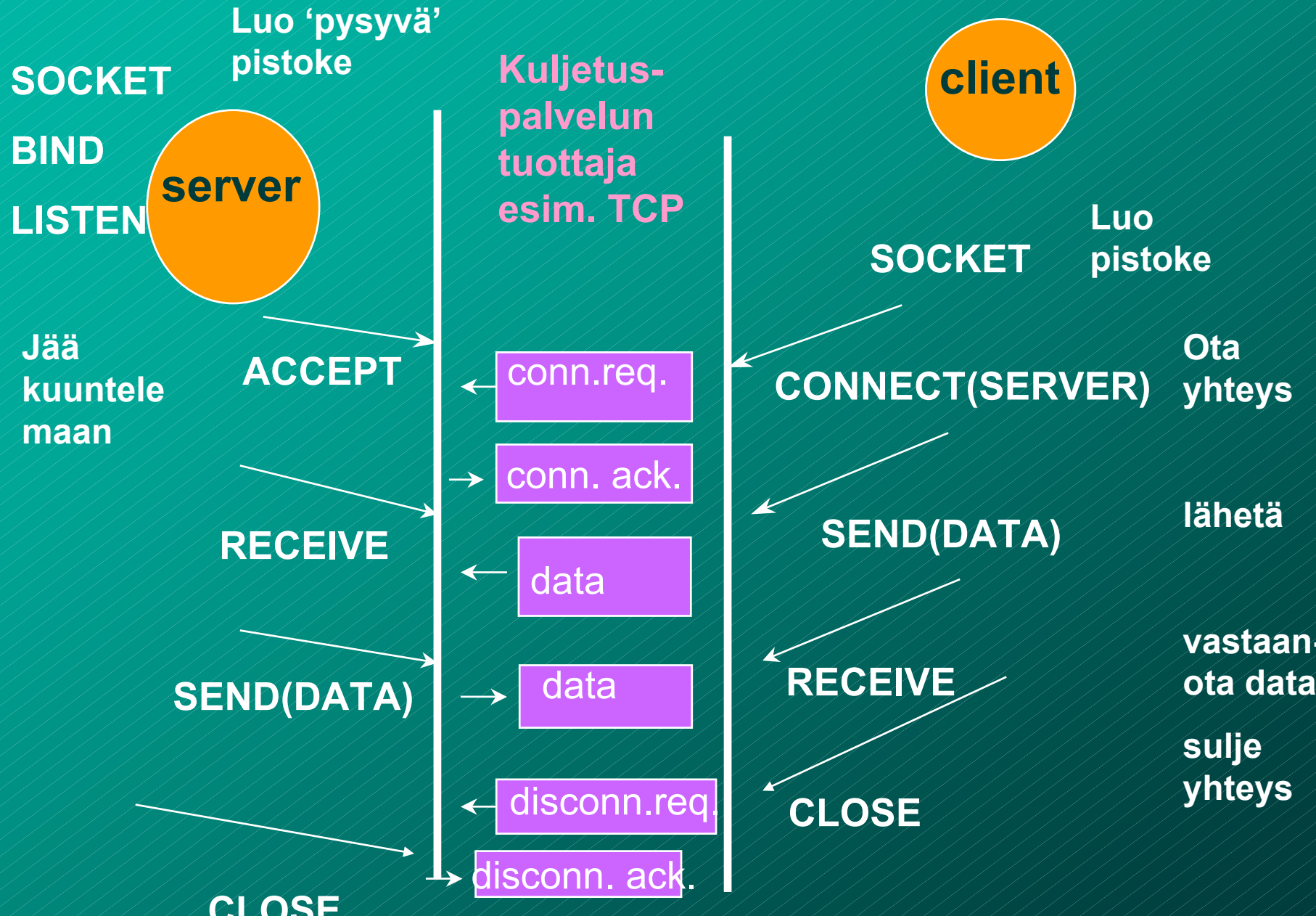


# TCP:n pistokeprimitiivit

- 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

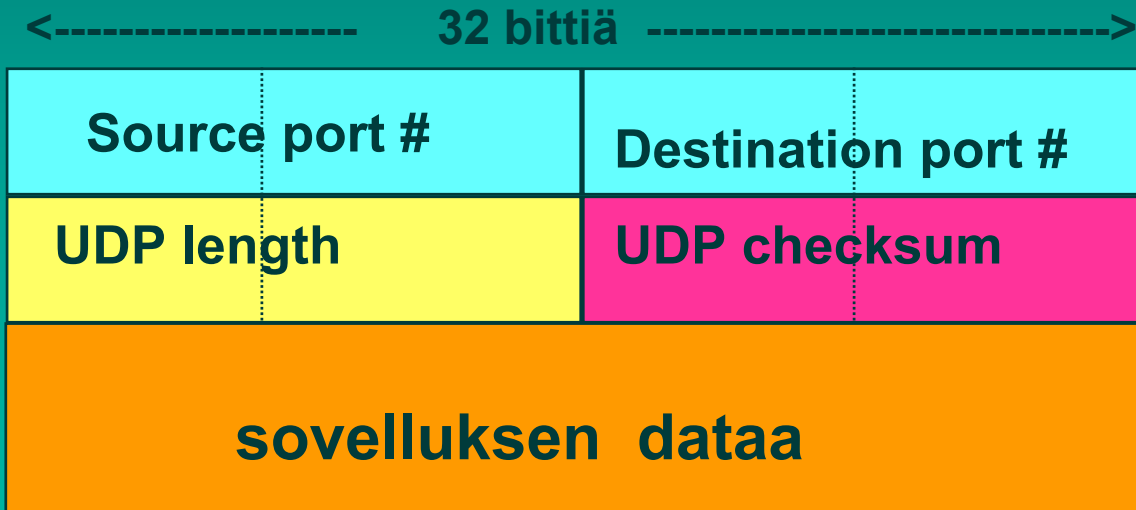


## 3.3 UDP

### ■ UDP (User Data Protocol)

- voidaan lähettää sanomia ilman yhteyden muodostusta

#### UDP-otsake



# 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

```
1011 0100
0111 0101
1000 1101
=====
1011 0110
0100 1001
```

vastaanottaja

```
1011 0100
1111 0101
1000 1101
0100 1001
=====
0111 1111
```

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 (= 8 tavua) pieni => pieni yleisrasite => lisää tehokkuutta
- Ruuhkanvalvonta ei säännöstele liikennettä

# Tehtäviä:

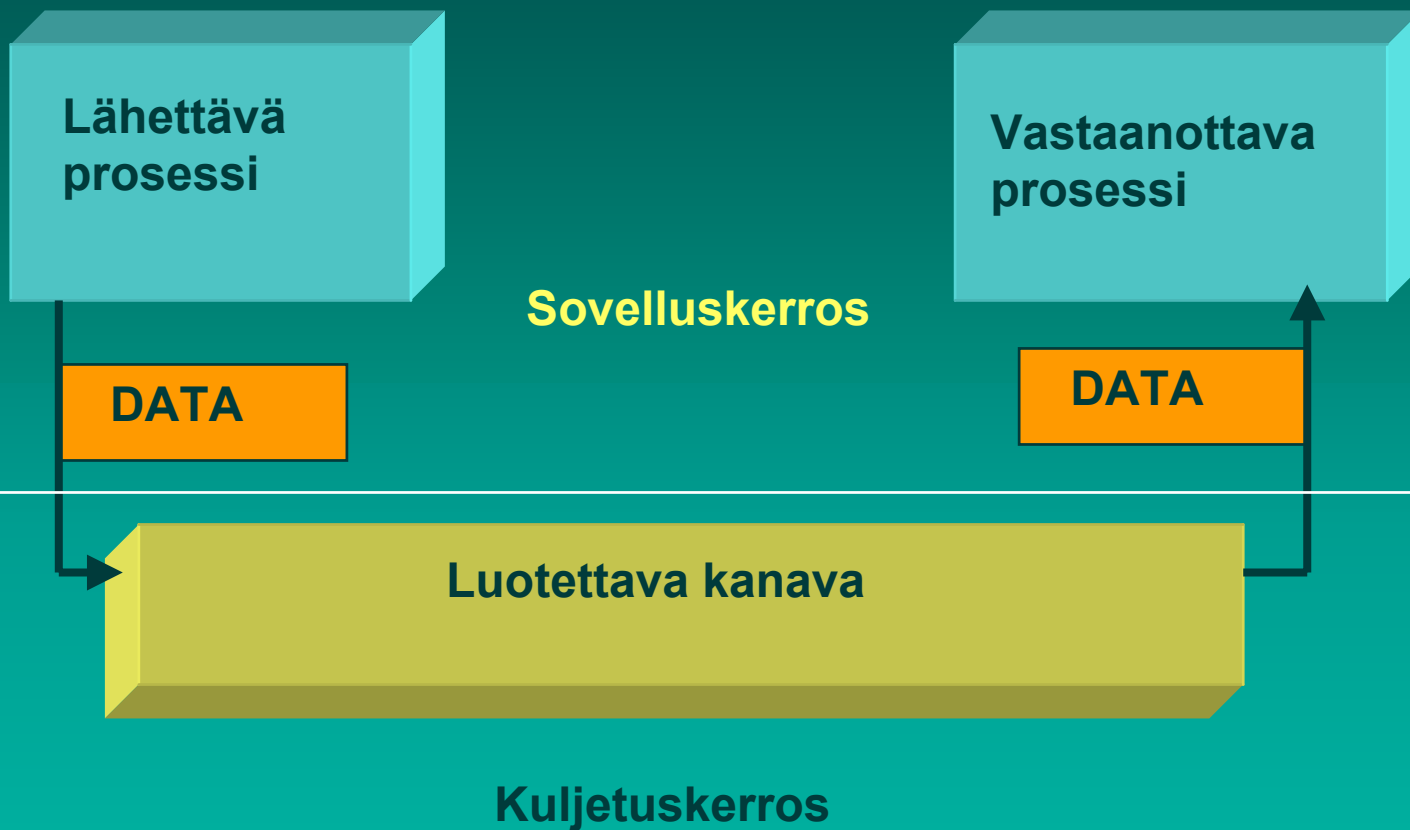
- Lähetetään 10 tavun viesti UDP:llä.
  - Miten kauan kestää lähettäminen, jos lähetysnopeus on 56 kbps?
    - $10 \text{ tavua} + 8 \text{ tavua} = 18 * 8 \text{ b} = 144 \text{ bittiä}$
    - $144 \text{ b} / 56\,000 \text{ b/s} = 2.57 \text{ ms}$
  - Miten suuri on etenemisviive, jos etäisyys lähettäjältä vastaanottajalle on 1000 km?
    - $1000\text{km} / 200\,000 \text{ km/s} = 5 \text{ ms}$
  - Miten suuri on UDP-otsakkeen aiheuttama yleisrasite (overhead)?
    - $8/18 = 0.44$  eli 44 %

# 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

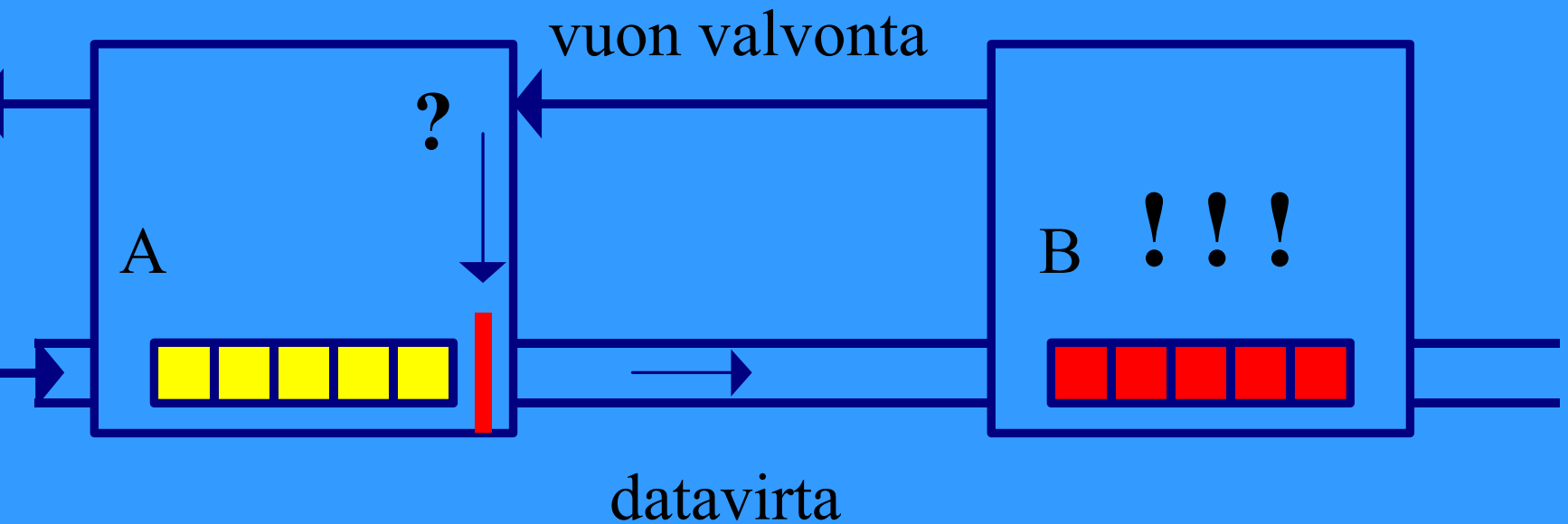
paketti

paketti

Epäluotettava kanava

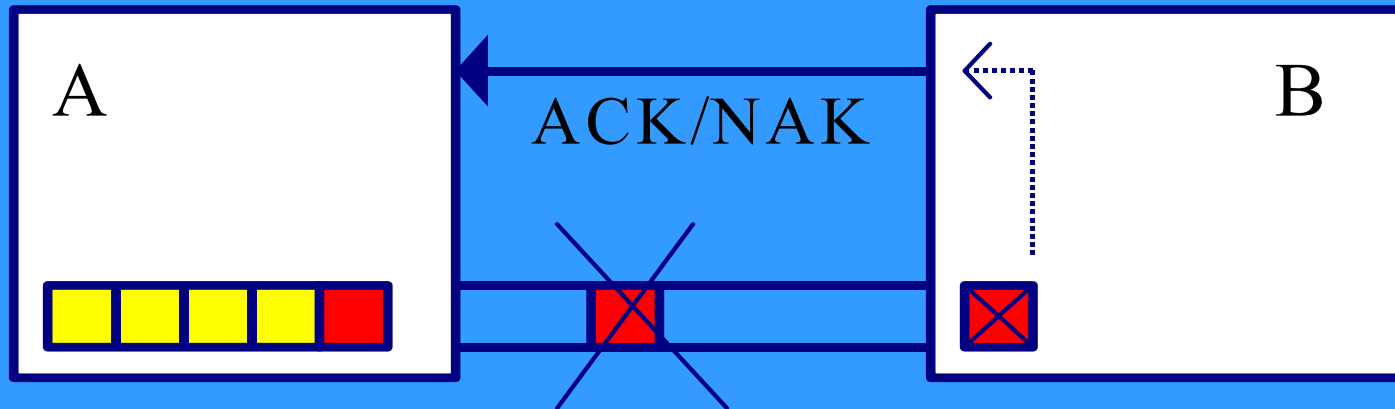
## Verkkokerros

# Vuon valvonta



■ X-ON / X-OFF : GO! | STOP!

# Kohinainen kanava



- **sanoma vääristyy => virhetarkistus**
- **sanoma katoaa => numerointi, ajastin ja uudelleenlähetyt**
  - duplikaattien havaitseminen
- **sanoma viivästyy => rajallinen elinaika**
- **sanomien järjestykset muuttuu => järjestyminen**

# 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
    - uudelleenlähetyks
  - sanomien numerointi
  - uudelleenlähetyksajastin

# 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
    - lähetyiskanava koko ajan käytössä
  - suorituskyky kasvaa



# Liukuvan ikkunan protokolla

(Sliding Window)

## ■ Lähetyssikkuna

### – ikkunan koko

- montako sanomaa saa korkeintaan olla kuittaamatta
- järkevä koko riippuu yhteyden tyypistä ja vastaanottajan kapasiteetista
- kiinteä koko /vaihteleva koko

### – sisältö = mitkä sanomat saa lähettää

- sanomalla järjestysnumero
  - rajallinen, N bittiä  $\Rightarrow 2^N$  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 lähetyksikkunassa
- **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-sanoma identifioi viimeksi vastaanotetun virheettömän sanoman
  - jotta kuittausduplikaatti ei voi kuitata väärää sanomaa
  - ACK ilmoittaa joko
    - » seuraavaksi odotetun sanoman numeron
    - » viimeksi vastaanotetun sanoman numeron

## ■ Entä kun tapahtuu virhe?

- kaksi eri tapaa hoitaa
- **toisto virheestä lähtien (go back n)**  
(tai paluu n:ään)
- **valikoiva toisto (selective repeat)**

# Toisto virheestä eli Paluu n:ään ('Go back n')

- virheellisen sanoman havaittuaan
  - vastaanottaja hylkää kaikkia sen jälkeiset sanomat eikä lähetä niistä kuittauksia
  - => sanomat hyväksytään vain oikeassa järjestyksessä
- kun lähettäjä ei saa kuittauksia,
  - sen lähetyksikkuna '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!

■ Valikoiva toisto

## ■ 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 uudelleenlähetystyksiä**
  - lähetys ja kuittaus menevät ristiin
- **NAK-kuittauksen katoaminen ei haittaa**
  
- **implisiittinen uudelleenlähetys**
  - ei NAK-kuittauksia
- **explisiittinen uudelleenlähetys**
  - käytetään NAK-kuittauksia