- jos ilmoitus lisäpuskureista katoaa, lähettäjä lukkiutuu odotustilaan
  - vastaanottaja voi luulla, ettei ole lähetettävää
- lukkiutumisen estämiseksi
  - kun ikkunankoko = 0 lähettäjä ei saa lähettää, paitsi
  - erityistä 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

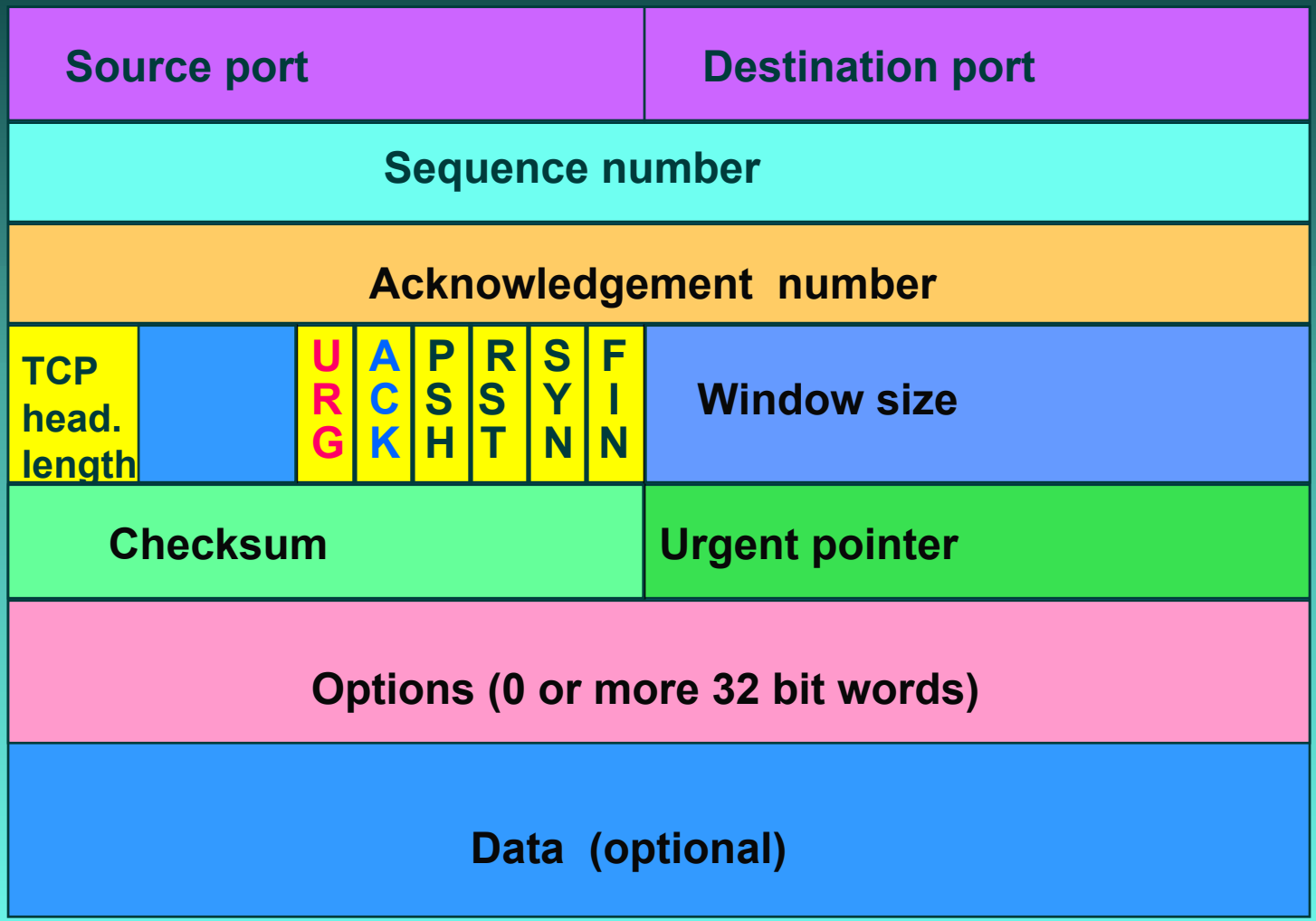
- Tilanteessa, jossa
  - lähettäjältä dataa TCP:lle suurina lohkoina
  - vastaanottajalle mahtuu vain tavu kerrallaan
- voi tuhota TCP:n suorituskyvyn
  - koko data lähetetään tavu kerrallaan
  - joka tavun välissä ilmoitus ikkunan koon kasvattamisesta yhdellä
- Siis: ei ilmoitusta yhdestä tavusta, lähettäjä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

Silly winwow syndrome

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



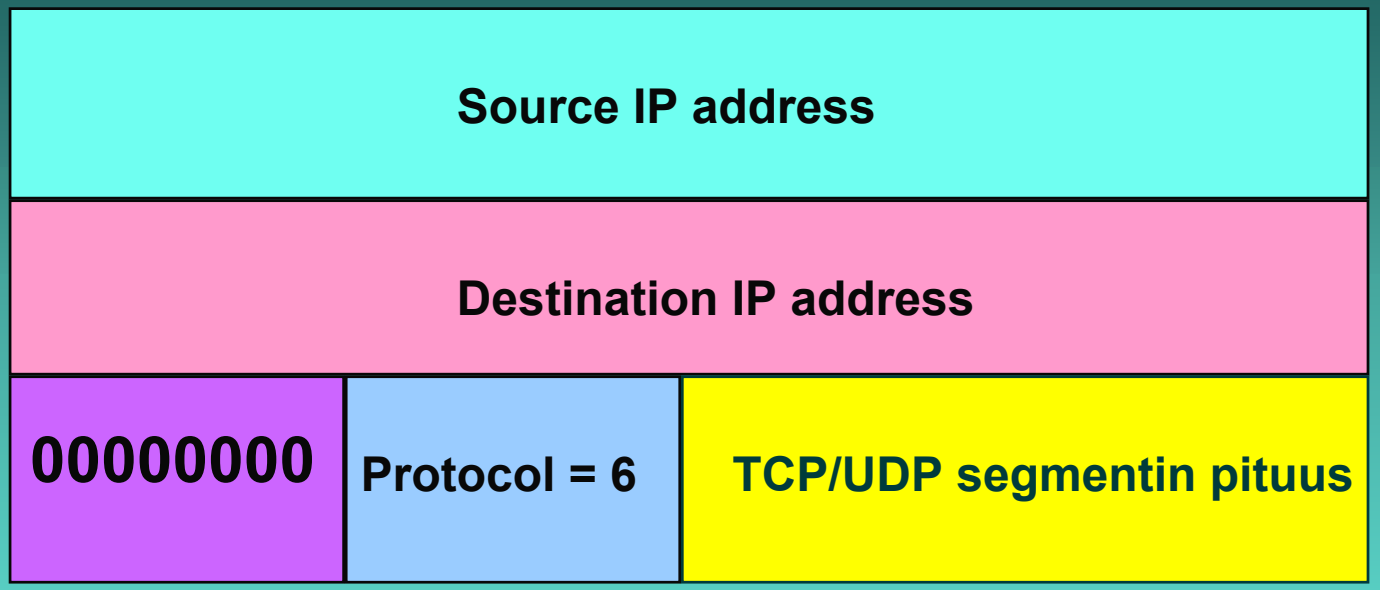
TPC-segmentin otsakekentät

- **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.

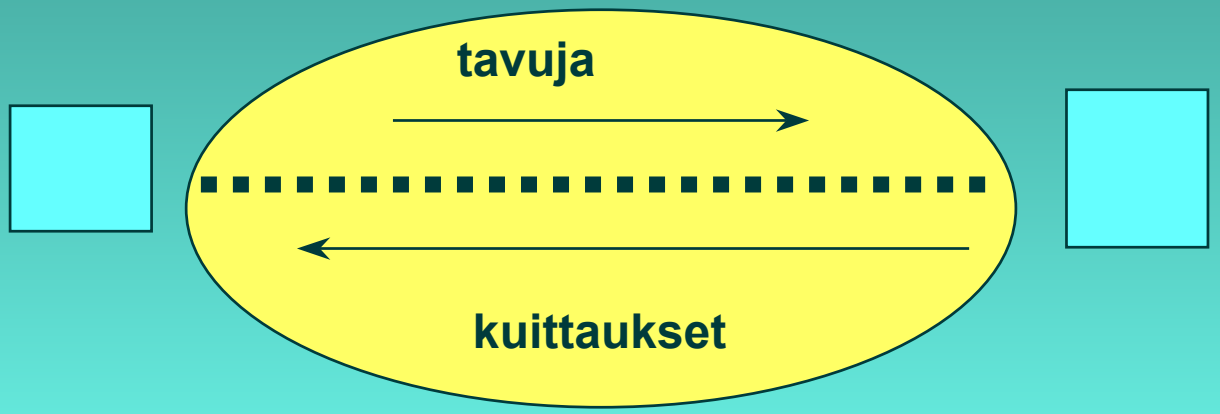
Sisältää IP-otsakkeen tietoja!

- **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

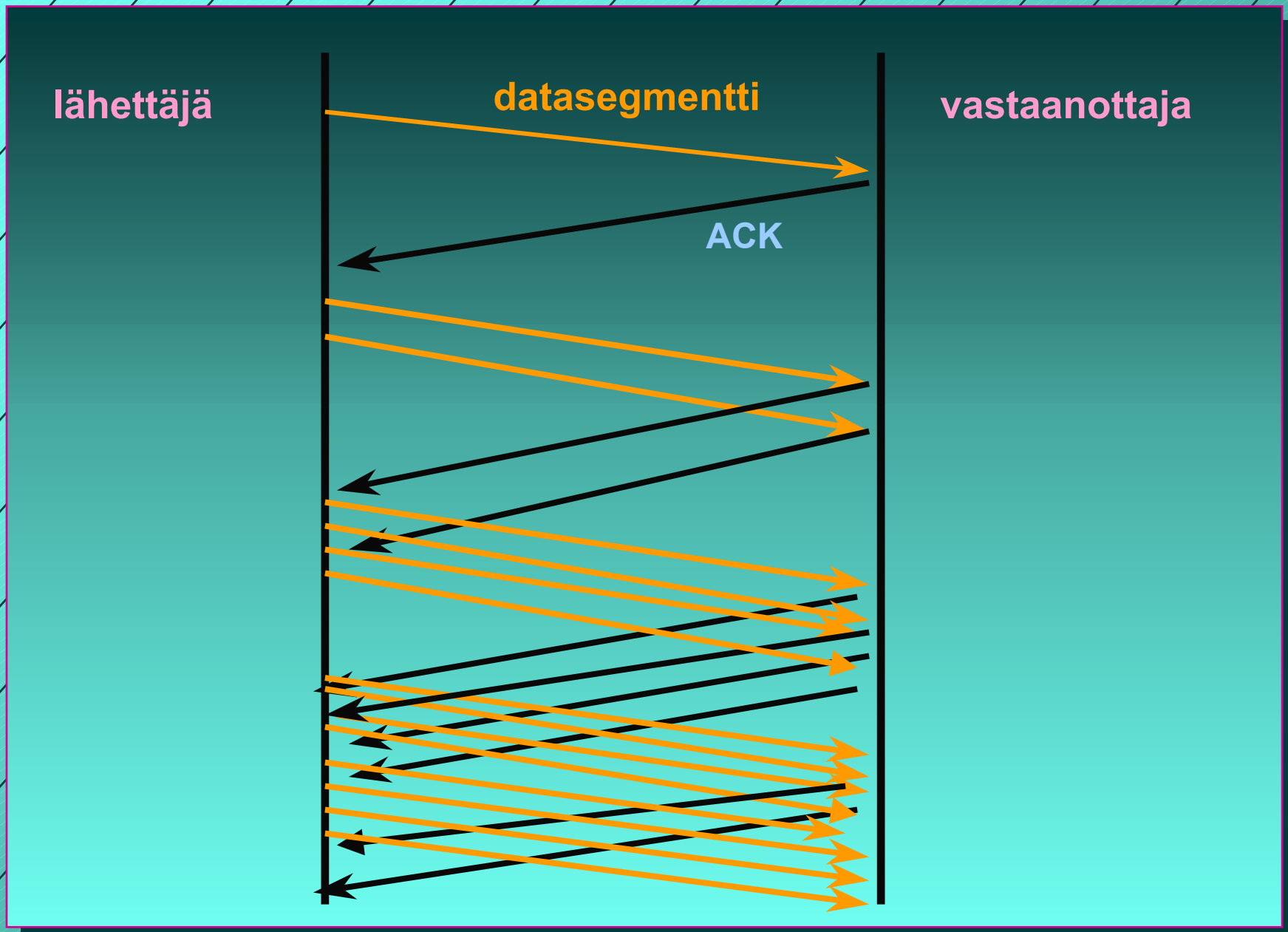
- ruuhkaikkuna
  - “paljonko tavuja (segmenttejä) lähettäjällä saa korkeintaan olla verkossa liikkeellä”
    - paljonko lähettäjä saa kuormittaa verkkoa
  - kuittaus => ko. tavut jo poistuneet verkosta



- **Ruuhkaikkunan koko?**
  - Lähettäjän on itse pääteltävä ja arvioitava sopiva ruuhkaikkunan koko
    - kukaan muu ei sitä kerro!
    - uudelleenlähetysajastin laukeaa => on ruuhkaa
    - kuittaukset tulevat tasaisesti => ei ole ruuhkaa
  - Internet-verkon kuormitus voi vaíhdella paljon
- **Dynaaminen ruuhkaikkunan koko:**
  - ruuhkaikkunaa kasvatetaan, kunnes törmätään ruuhkaan
    - ensin kasvatetaan melko nopeasti, sitten varovaisemmin
  - 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)
  - aluksi 64 K
  - ‘varoitusarvo’ = tästä lähtien syytä varoa ruuhkaa
  - 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

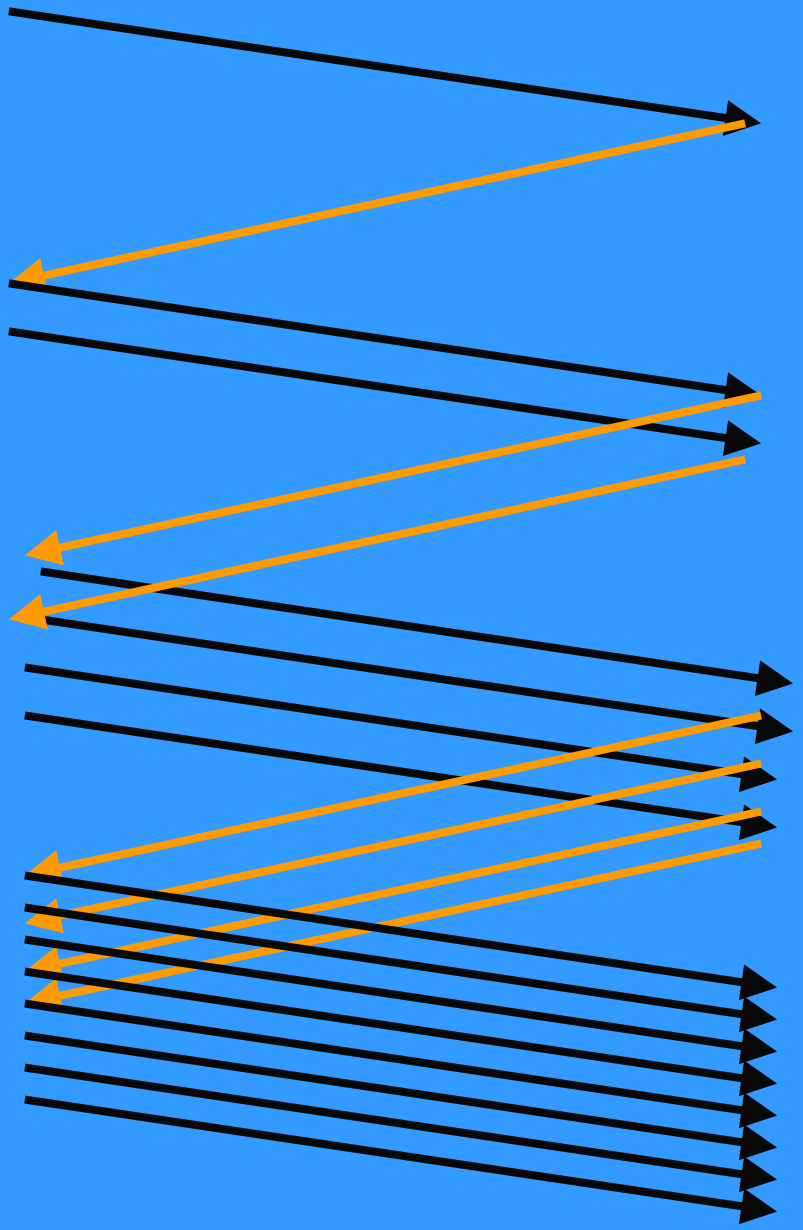
- **uudelleenlähetysajastin** (retransmission timer)
  - asetetaan aina kun segmentti lähetetään
  - ruuhkaa, jos kuittaus ei saavu ajoissa
- **mikä on sopiva ajastimen aika?**
  - kuittaus aika vaihtelee suuresti
  - vaihtelu on myös nopeaa
- **dynaaminen arvo**
  - saadaan jatkuvien verkon suorituskykymittauksien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

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

    RTT = αRTT + (1-α)M, tyypillisesti α = 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 = α D + (1- α)|RTT-M|
  - ajastimen arvo = RTT +4*D

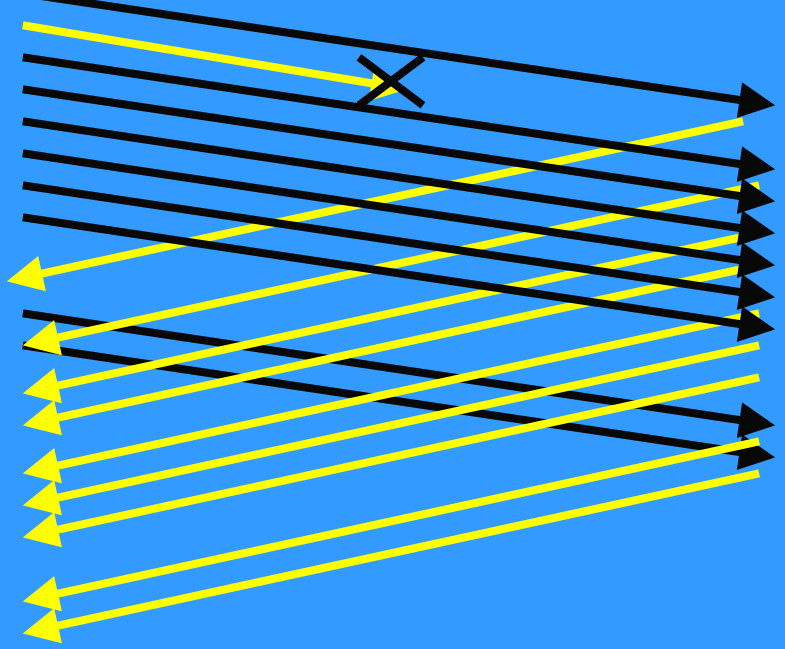
- uudelleenlähetysten vaikutus ajastimeen
  - kumpaan segmenttiin kuittaus kohdistuu?
- Karnin algoritmi
  - ei oteta huomioon uudelleenlähettyjen segmenttien kuittauksia RTT:n laskemisessa



Hidas aloitus:

Lähetysmäärä kasvaa eksponentiaalisesti

Ikkuna
täyttyy ja
lähettäjän
täytyy
odottaa
kunnes
kadonneen
sanoman
ajastin
laukeaa



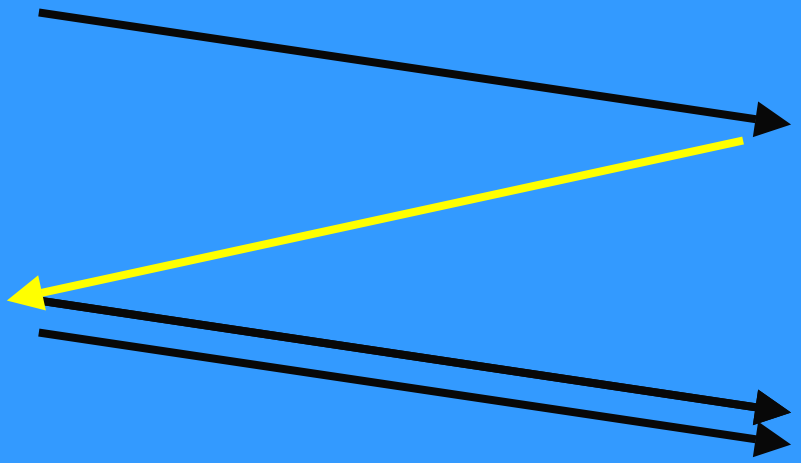
Hidas aloitus:

segmentti katoaa
ja kuittausta ei tule

=> kadonneen
segmentin ajastin
laukeaa aikanaan

Tahoe-versio

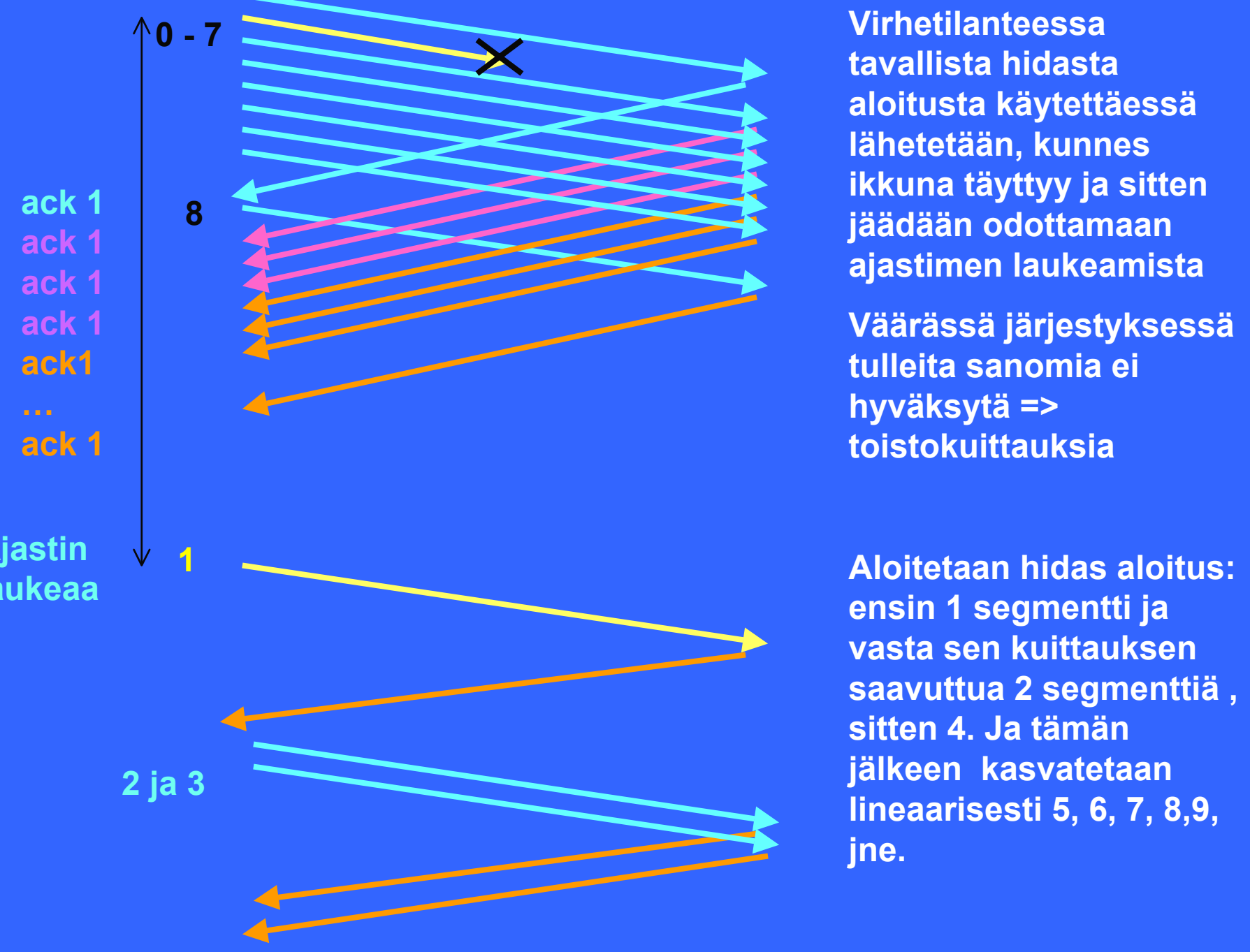
Sitten
aloitetaan
taas
hitaalla
aloituksella



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

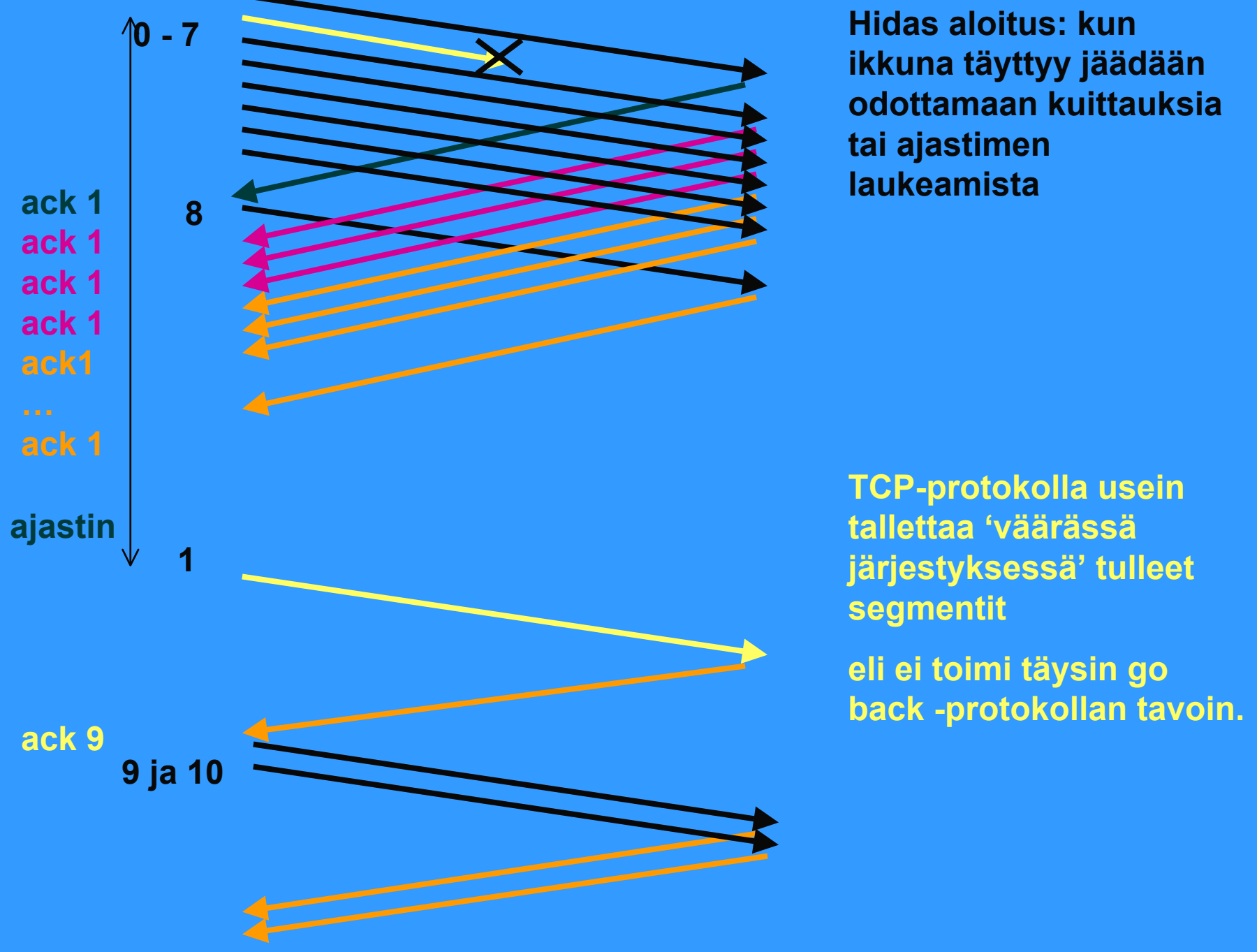
- **Nopea toipuminen (Fast Recovery)**
  - **kun kadonnut paketti huomataan nopealla toipumisella, ei aloiteta alusta hitaalla aloituksella**
    - **vaan pudotetaan ruuhkaikkuna puoleen**
    - **ja jatketaan normaalilla lineaarisella kasvattamisella**
  - **Mitä hyötyä tästä on?**
  - **Miksi voidaan huoletta tehdä näin?**



Virhetilanteessa tavallista hidasta aloitusta käytettäessä lähetetään, kunnes ikkuna täyttyy ja sitten jäädään odottamaan ajastimen laukeamista

Väärässä järjestyksessä tulleita sanomia ei hyväksytä => toistokuittauksia

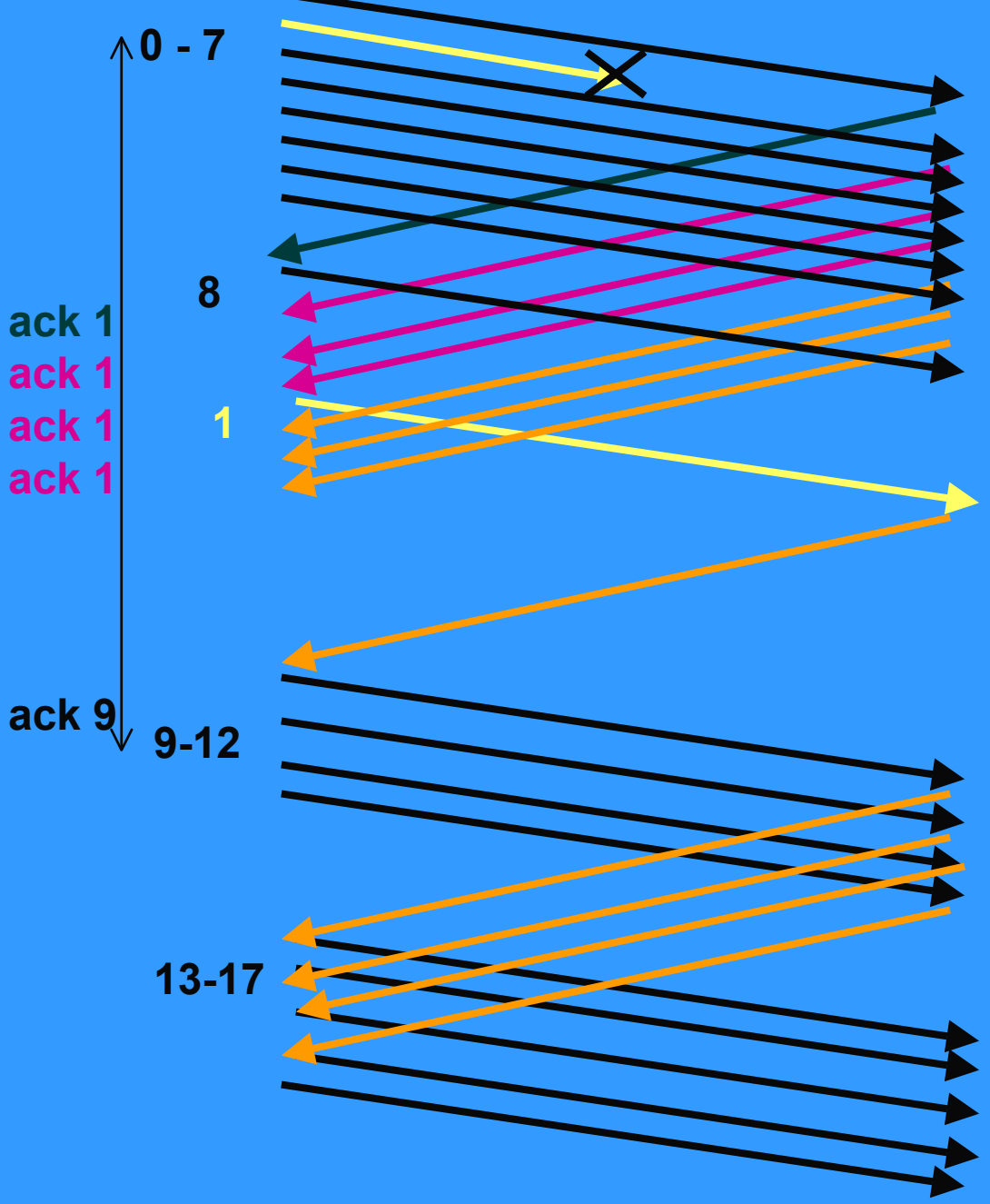
Aloitetaan hidas aloitus: ensin 1 segmentti ja vasta sen kuittauksen saavuttua 2 segmenttiä , sitten 4. Ja tämän jälkeen kasvatetaan lineaarisesti 5, 6, 7, 8,9, jne.



Hidas aloitus: kun ikkuna täyttyy jäädään odottamaan kuittauksia tai ajastimen laukeamista

TCP-protokolla usein tallettaa ‘väärässä järjestyksessä’ tulleet segmentit

eli ei toimi täysin go back -protokollan tavoin.



Nopea uudelleenlähetys ja nopea toipuminen:

kolmen toistokuittauksen jälkeen lähetetään ‘pyydetty’ segmentti uudestaan

TCP-protokolla usein tallettaa ‘väärässä järjestyksessä’ tulleet segmentit

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

Reno-versio

- **hidas aloitus ja ruuhkan valvonta ongelmallisia langattomassa yhteydessä**
  - **Miksi?**

- **Lisäparannuksia ruuhkanhallintaan**
  - **esim. Vegas**
    - **ruuhkan ennustaminen ennen ajastimen laukeamista**
    - **ruuhkaikkunaa ei kasvateta aina ruuhkaan asti**
    - **RED (random early detection)**
  - **entä UDP?**

TCP langattomassa verkossa

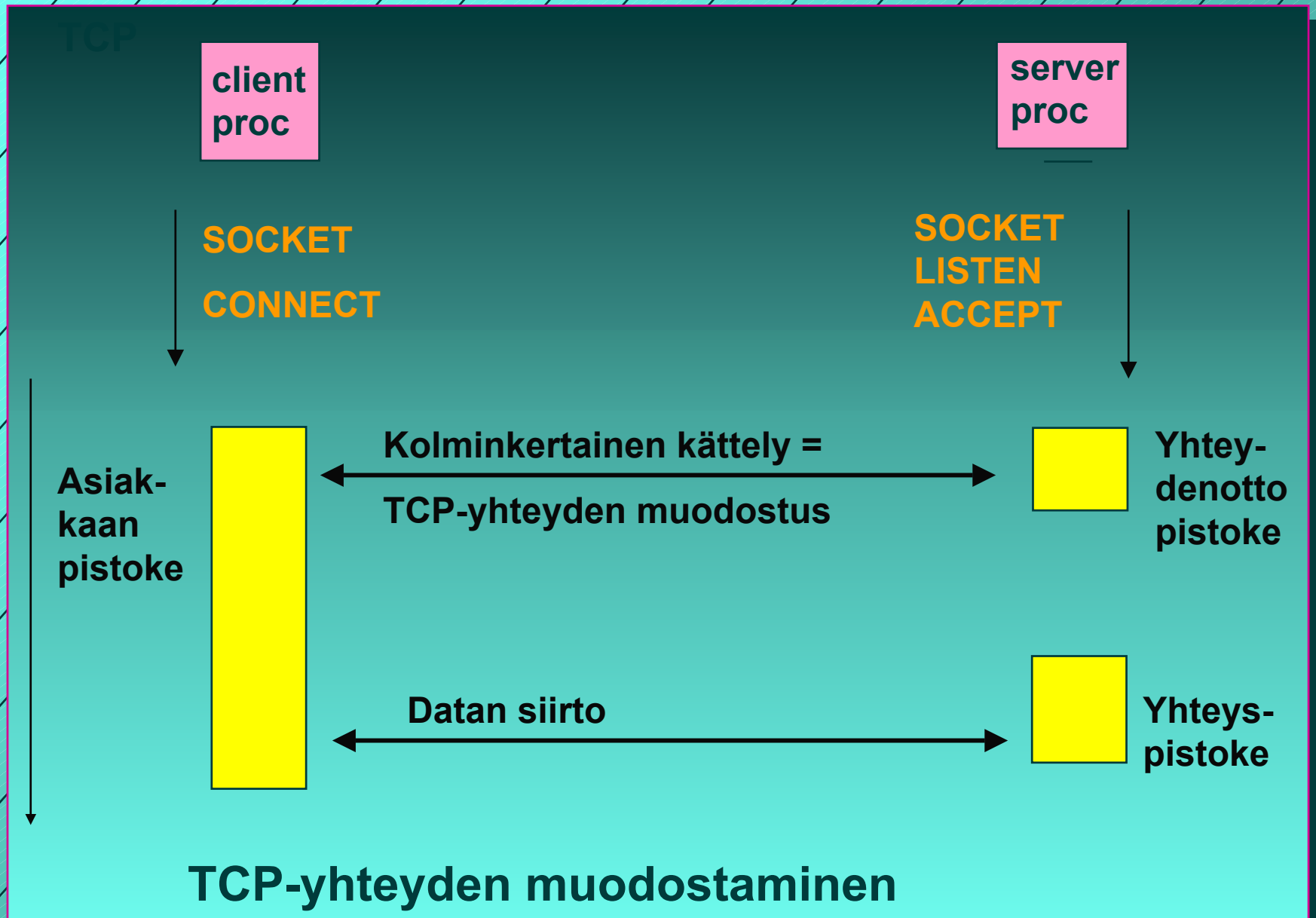
- monet TCP-toteutukset optimoitu luotettaville lankaverkoille => suorituskyky langattomissa verkoissa erittäin huono
  - ruuhkanvalvonta-algoritmi olettaa ajastimen laukeamisen johtuvan ruuhkasta
    - lähettämistä hidastetaan, jotta verkon kuormitus pienenisi ja ruuhkaa ei syntyisi
  - langattomat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

TCP-yhteyden hallinta

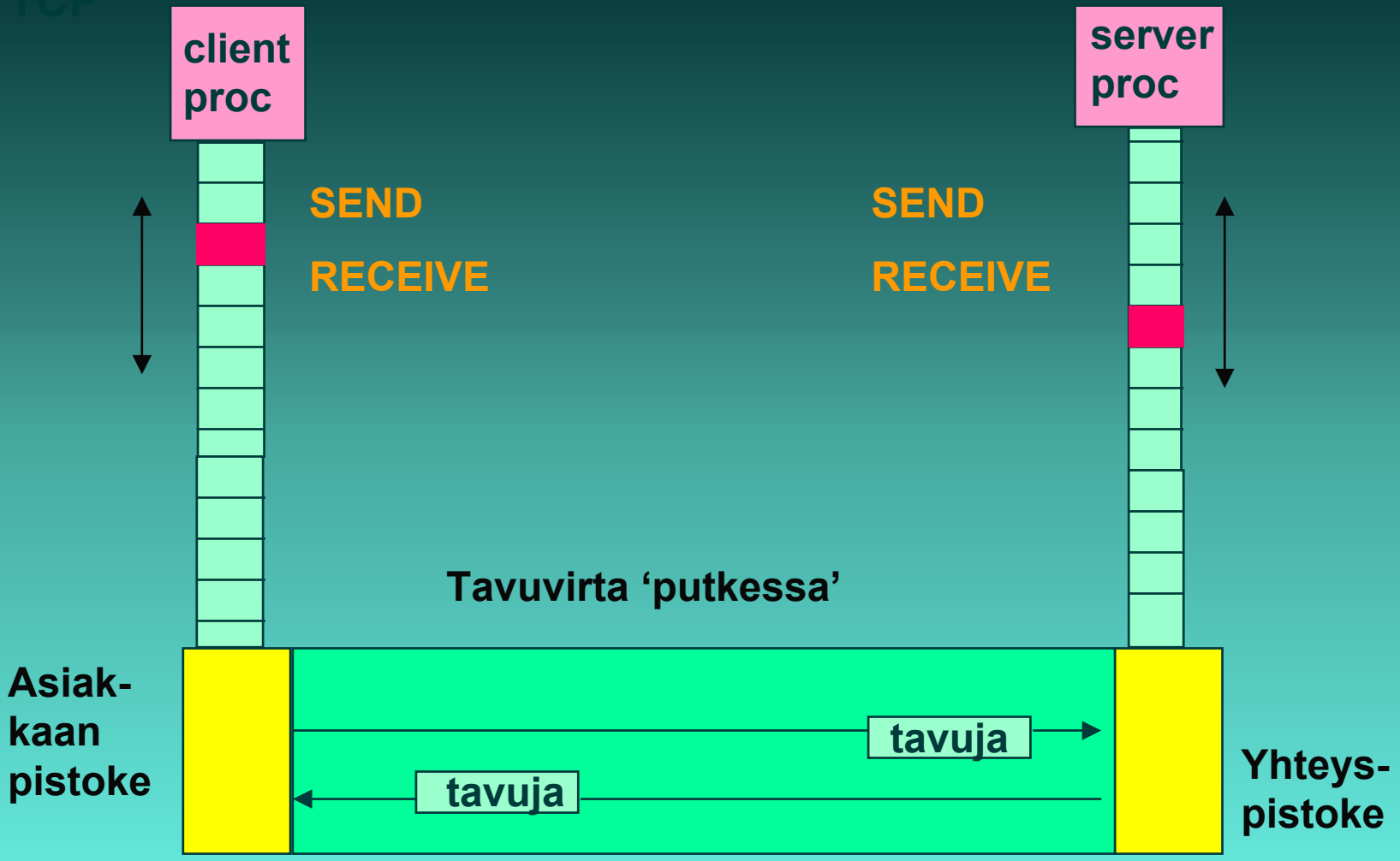
- yhteys muodostetaan kolminkertaisella kättelyllä
- passiivinen osapuoli kuuntelee
  - SOCKET
  - BIND
  - LISTEN
  - ACCEPT
- aktiivinen osapuoli aloittaa yhteydenmuodostuksen
  - CONNECT

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

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



TCP-yhteyden muodostaminen



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

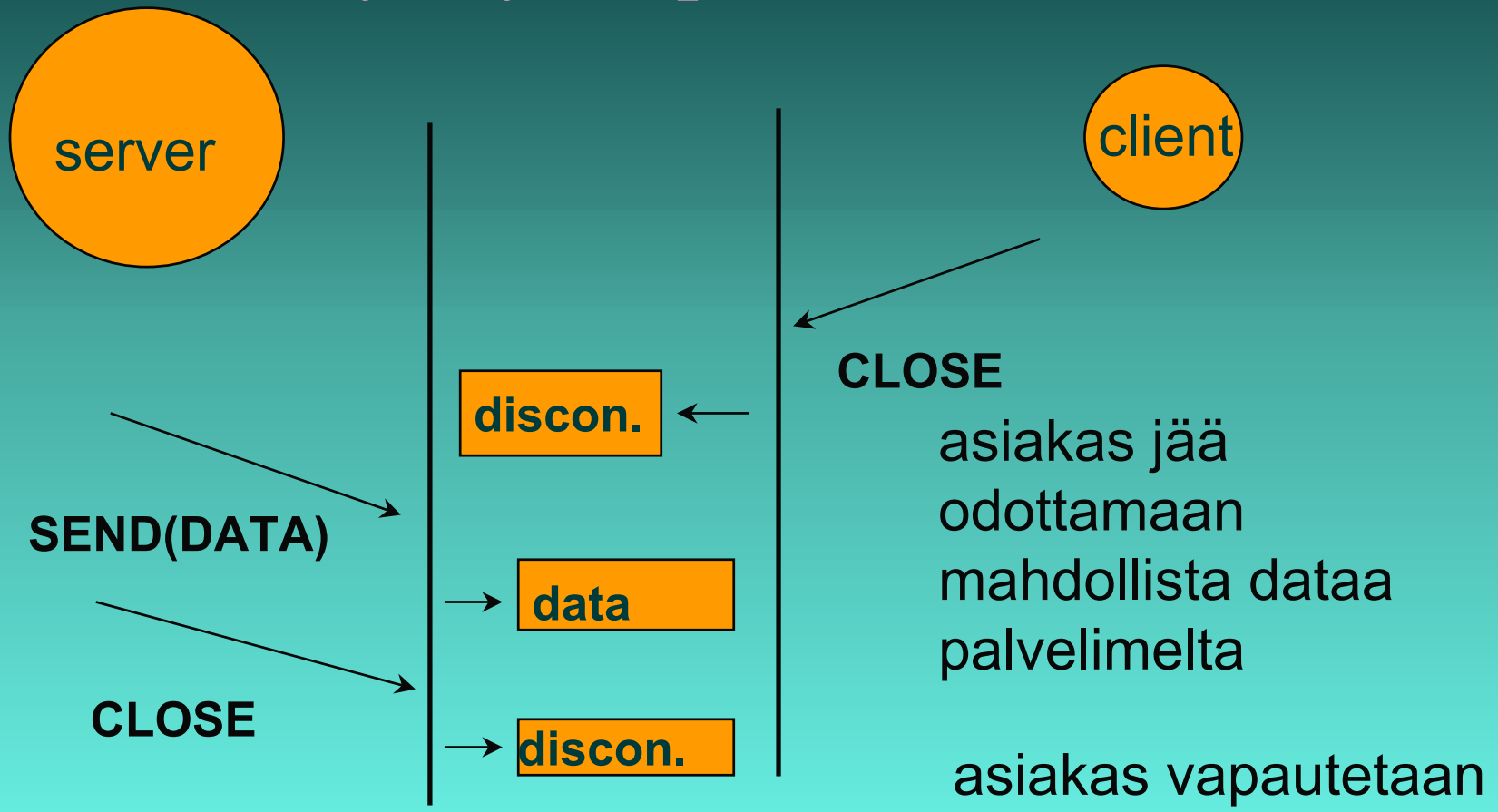
Segmentit lähetetään neljänä eri IP-pakettina

Ne luovutetaan vastaanottajalle yhdellä READ-kutsulla

neljä 512 tavun segmenttiä

yksi 2048 tavun data

yhteyden purkaminen



symmetrinen yhteyden purku

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)

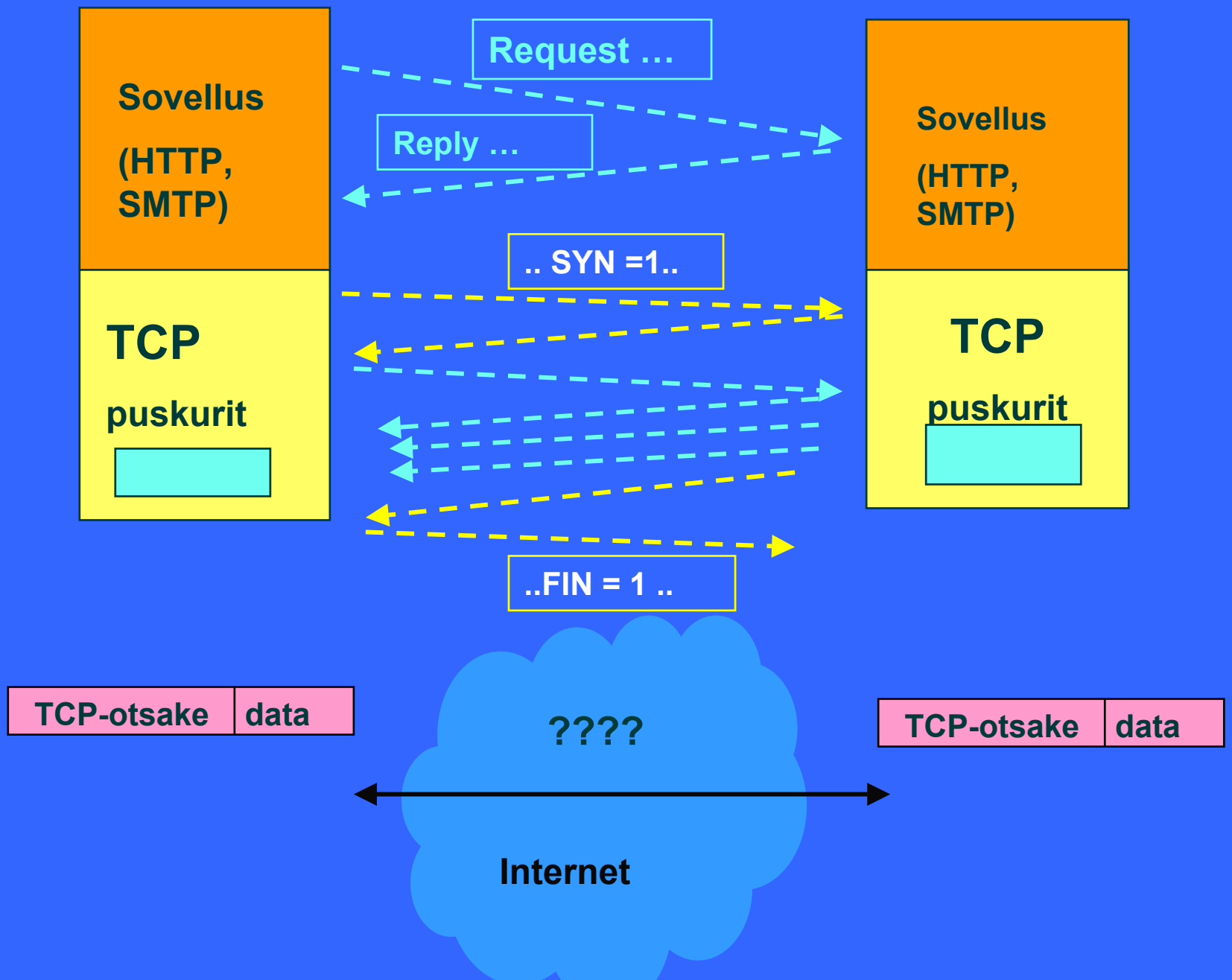
Pistokeohjelmointi

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

    (järjestetään keväällä 2003)

Yhteenveto

- **Kuljetuskerroksen palvelut**
  - **UDP**
  - **TCP**
    - **luotettava tavuvirta**
      - **yhteyden muodostus ja purku**
      - **numerointi, tarkistussumma,**
      - **kuittaus, uudelleenlähetys, Go-back N**
      - **vuonvalvonta: vastaanottoikkuna (liukuva ikkuna)**
      - **ruuhkanhallinta: hidas aloitus**
  - **pistokeohjelmointi**


Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
puskurit
Request …
Reply …
.. SYN =1..
..FIN = 1 ..
Sovellus
(HTTP, SMTP)
TCP
puskurit
TCP-otsake
data
????
Internet
TCP-otsake
data