

## 2. Liikenne

## Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

## Tarjottu vs. kuljetettu liikenne

- **Tarjottu** liikenne (offered traffic)
  - alkuperäinen liikenne sellaisena kuin se syntyy liikennelähteessä
- **Kuljetettu** liikenne (carried traffic)
  - liikenne sellaisena kuin miksi se verkossa muokkautuu

## Kuljetetun liikenteen karakterisointi

- Piirikytetyn verkon hetkellisen liikenteen karakterisointi
  - käynnissä olevien yhteyksien/kutsujen/puhelujen lukumääränä (erl)
  - digitaalisissa järjestelmissä voidaan muuntaa bittivirraksi
    - esim. PCM-järjestelmässä puhelu varaa 64 kbps (=  $8000 \cdot 8$  bps)
- Pakettikytketyn verkon hetkellisen liikenteen karakterisointi
  - bittivirtana (bps, kbps, Mbps, Gbps, ...)
  - pakettivirtana (pps)
  - aktiivisten voiden lukumääränä (erl)

## Liikenteen mittayksiköt

- Vanhaan hyvään analogia-aikaan (puhelin)liikennettä mitattiin
  - **erlangeina** (erl)
  - yhden erlangin liikenne vastaa yhtä varattua kanavaa eli yhtä käynnissä olevaa puhelua
- Nykyisellä digitaaliaikakaudella (data)liikennettä mitataan
  - **bitteinä sekunnissa** (bps)
  - paketteina sekunnissa (pps)
- Huom:
  - 1 tavu = 8 bittiä
  - 1 kbps = 1 kbit/s = 1,000 bittiä sekunnissa
  - 1 Mbps = 1 Mbit/s = 1,000,000 bittiä sekunnissa
  - 1 Gbps = 1 Gbit/s = 1,000,000,000 bittiä sekunnissa

## Liikenteen vaihtelu eri aikaskaaloissa (1)

- **Ennustettavat** vaihtelut:
  - **Trendikehitys** (vuosia)
    - liikenteen määrän kasvu:
      - olemassaolevat palvelut: käyttäjien määrän kasvu, käyttötottumuksen muutokset, tariffien muutokset
      - uudet palvelut
  - Vuosittainen kausivaihtelu: **vuosiprofiili** (kuukausia)
  - Viikkorytmiin liittyvät vaihtelut: **viikkoprofiili** (päiviä)
  - Päivärytmiin liittyvät vaihtelut: **päiväprofiili** (tunteja)
    - sisältäen kiiretunnin
  - **Ulkoisista tapahtumista** johtuvat ennustettavat vaihtelut
    - säännölliset: esim. joulu
    - epäsäännölliset: esim. puhelinäänestykset

## Liikenteen vaihtelu eri aikaskaaloissa (2)

- **Satunnaiset** vaihtelut:
  - **Lyhyen aikavälin** satunnaisvaihtelut (sekunteja - minuutteja)
    - toisistaan riippumattomien käyttäjien käyttäytymiseen liittyvät vaihtelut
      - satunnaiset kutsujen, pakettien, voiden saapumiset
      - satunnaiset kutsujen pitoajat, pakettien ja voiden pituudet
  - **Pitkän aikavälin** satunnaisvaihtelut (tunteja - ...)
  - satunnaiset vaihtelut päivä-, viikko-, vuosiprofiilin ympärillä
  - jokainen päivä, viikko, ... on erilainen
  - **Ulkoisten tapahtumien** aiheuttamat satunnaisvaihtelut
    - esim. maanjäristykset ja muut luonnonmullistukset
- Huom:
  - Tavanomaisilla liikenneteoreettisilla malleilla pyritään kuvaamaan nimenomaan **lyhyen aikavälin satunnaisvaihteluita**

## Kiiretunti (1)

- Verkon mitoittaminen suurimman milloinkaan esiintyvän liikennehuipun varalle ei ole tarkoituksenmukaista
  - Puhelinverkoissa mitoitusta varten kehitetty (laskennallinen) liikenteen huippua kuvaava suure on ns. **kiiretunnin** (busy hour) **liikenne**
- Kiiretunti**  $\approx$  se yhden tunnin pituinen jakso, jona liikenteen määrä on suurin
- tämä määritelmä on yksikäsitteinen vain yksittäisille päiville
  - mitoitusta varten pitää tarkastella useamman päivän keskiarvoa
  - Mitoitukseen sopivien keskimääräisten arvojen määrittämiseksi suosituksissa (ITU) on erilaisia määritelmiä:
    - ADPH (Average Daily Peak Hour)
    - TCBH (Time Consistent Busy Hour)

## Kiiretunti (2)

- **Let**
  - $N$  = mittauspäivien lkm (esim.  $N = 10$ )
  - $a_n(\Delta)$  = liikenteen keskim. voimakkuus mittauspäivän  $n$  aikavälillä  $\Delta$
  - $\max_{\Delta} a_n(\Delta)$  = huipputunnin liikenne mittauspäivänä  $n$
- Kiiretunnin liikenne  $a$  eri menetelmillä laskettuna:

$$a_{ADPH} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \max_{\Delta} a_n(\Delta)$$

$$a_{TCBH} = \max_{\Delta} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_n(\Delta)$$

- Selvästikin

$$a_{TCBH} \leq a_{ADPH}$$

9

## Demo: Funet

- Vuorokausivaihtelu
  - päivä vs. yö
  - huippuliikenne, "kiiretunti"
  - reitityksen muutokset?
- Viikkovaihtelu
  - arkipäivät vs. viikonloppu
- Kuukausivaihtelu
  - poikkeuspäivät: esim. joulupäivä
- Vuosivaihtelu
- Pitemmän ajan trendi?

<http://www.csc.fi/suomi/funet/verkko.html.fi>  
<http://www.csc.fi/suomi/funet/noc/looking-glass/wm>

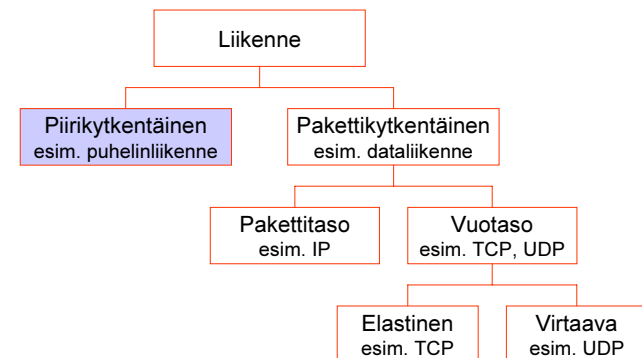
10

## Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

11

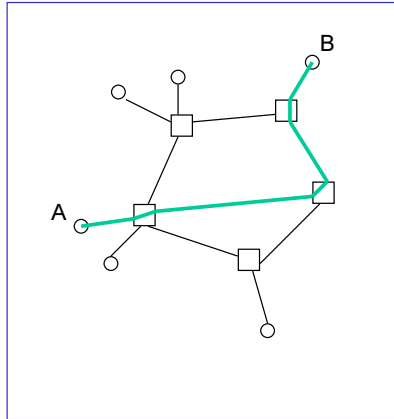
## Liikenteen luokittelu



12

## Puhelinverkko

- Yhteydellinen:
  - tiedonsiirtoa edeltää yhteydenmuodostusvaihe, jonka aikana yhteys rakennetaan valmiiksi päästä-päähän valittua reittiä pitkin
  - tarvittavat resurssit (so. kiinteä kanava kaikilta reittiin kuuluvilta linkeiltä) varataan koko yhteyden keston ajaksi
  - jos resursseja ei ole tarjolla, yhteyttä ei synny, ts. kutsu estyy
- Informaation siirto jatkuvana virtana



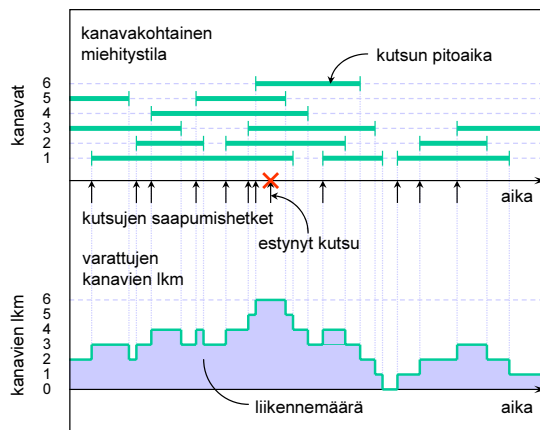
13

## Puhelinliikenteen malli

- Puhelinliikenne koostuu **kutsuista** (call)
  - kutsu varaa yhden kanavan kullakin reittinsä varrelta olevalta linkiltä
  - kutsun karakterisointi: **kesto** eli **pitoaika** (holding time)
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
  - **kutsujen saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia puheluita yritetään käynnistää)
  - **kutsujen pitoaikajakauma** (miten kauan kestävät)
- Linkki mallinnetaan puhtaana **menetysjärjestelmänä**
  - yksittäinen palvelija vastaa yhtä kanavaa
  - palvelijan palvelunopeus riippuu **keskimääräisestä pitoajasta**
  - palvelijoiden lukumäärä  $n$  riippuu **linkin kapasiteetista**
  - kun kaikki kanavat ovat täynnä, **pääsynvalvonta** (call admission control) huolehtii, ettei uusia kutsuja hyväksytä, vaan ne estyvät
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
  - **liikenneprosessi** kertoo montako puheluita on yhtäaikaan käynnissä = montako kanavaa on yhtäaikaan varattuna

14

## Liikenneprosessi



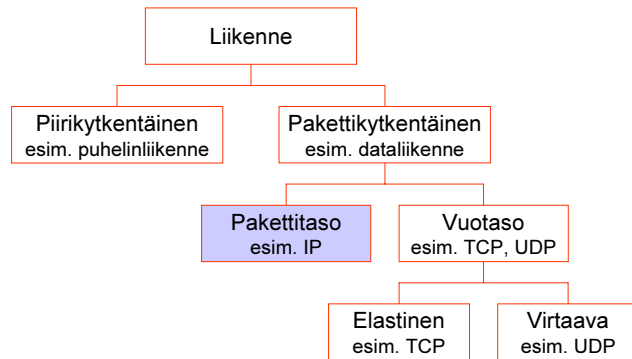
15

## Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- **Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla**
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

16

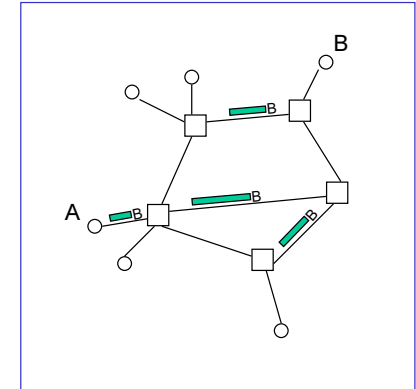
## Liikenteen luokittelu



17

## Verkkokerros IP-verkoissa

- **IP** = Internet Protocol
- Yhteydetön:
  - ei yhteydenmuodostusta
  - ei resurssien varausta
- Informaation siirto diskreetteinä paketteina
- **Best Effort** –palvelumalli
  - verkon solmut, reitittimet, toimittavat paketteja eteenpäin “parhaan kykynsä mukaan”
  - paketteja saattaa kadota, ne voivat viivästyä, tai niiden järjestys saattaa muuttua  
⇒ “älykkyyks” implementoitava verkon reunalle/päätelaitteisiin



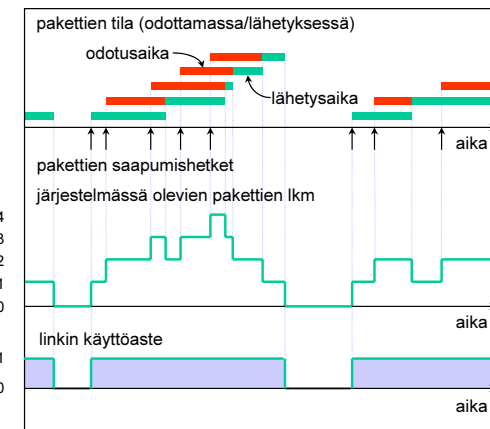
18

## Pakettitason malli dataliikenteelle

- Dataliikenne koostuu lyhyessä aikaskaalassa **paketeista** (packet)
  - verkon resursseja ei varata etukäteen, vaan paketit kilpailevat niistä jonotusperiaatteella (tilastollinen kanavointi)
  - paketin karakterisointi: **pituus** (length)
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
  - **pakettien saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia paketteja saapuu)
  - **pakettien pituusjakauma** (miten pitkiä ovat)
- Linkki mallinnetaan **yhden palvelijan jonotusjärjestelmänä**
  - palvelijan palvelunopeus riippuu **linkin kapasiteetista** ja **keskimääräisestä paketin pituudesta**
  - jos linkki on varattuna uuden paketin saapuessa, se jää puskuriin odottamaan, jos siellä on tilaa, tai katoaa, jos tilaa ei ole
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
  - **liikenneprosessi** kertoo järjestelmässä olevien pakettien lkm:n

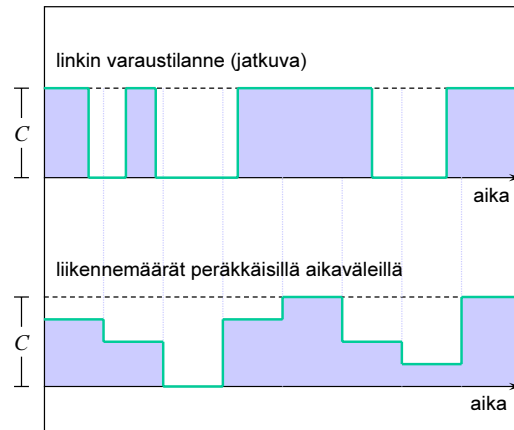
19

## Pakettitason liikenneprosessi (1)



20

## Pakettitason liikenneprosessi (2)



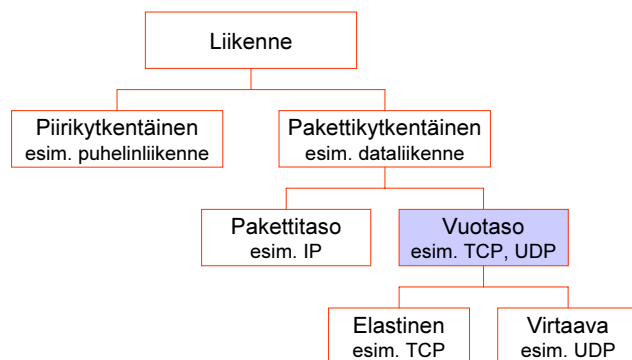
21

## Sisältö

- Liikenteen karakterisointi
- Puhelinliikenteen mallinnus
- Dataliikenteen mallinnus pakettitasolla
- Dataliikenteen mallinnus vuotasolla

22

## Liikenteen luokittelu



23

## Kuljetuskerros IP-verkoissa

- Verkkokerroksen (IP) päällä on **kuljetuskerros** (transport layer)
  - hoitaa IP-pakettien käsittelyn päätelaitteissa
  - toimii siis **päästä-päähän** (end-to-end)
- Tärkeimmät kuljetuskerroksen protokollat:
  - **TCP** = Transmission Control Protocol
    - lähetyksenopeus sopeutuu vallitsevaan liikennetilanteeseen ruuhkanhallintamekanismilla
    - soveltuu ei-reaaliaikaiselle liikenteelle, erityisesti digitaalisten dokumenttien siirtoon
  - **UDP** = User Datagram Protocol
    - lähetyksenopeus ei riipu verkossa vallitsevasta liikennetilanteesta
    - soveltuu erityisesti transaktioille (interaktiiviselle liikenteelle, jossa siirrettävät sanomat tyypillisesti lyhyitä)
    - soveltuu myös (paremman puutteessa) reaaliaikaiselle liikenteelle, jolloin UDP:n päällä tarvitaan vielä muita protokollia, esim. RTP

24

## TCP

- **TCP = Transmission Control Protocol**
  - **yhteydellinen** kuljetuskerroksen päästä-päähän protokolla
  - luotettava tavuvirran siirto yhteydettömän IP-kerroksen päällä
    - pakettien perillemeno oikeassa järjestyksessä varmistetaan kuittauksin ja uudelleenlähetyksin
  - liikenteen valvontaan kehitetty oma vuonohjaus/ruuhkanhallintamenettely
    - perustuu **adaptiivisen liukuvan ikkunan** käyttöön
  - **vuonohjaus** (flow control): estää ylikuormittamasta vastaanottajan
    - vastaanottaja kertoo, montako tavua valmis vastaanottamaan
  - **ruuhkanhallinta** (congestion control): estää ylikuormittamasta verkko
    - lähteen on itse pääteltävä, milloin verkko on ruuhkainen
    - tällaisen signaalin antaa **paketin katoaminen**: paketin kadotessa ikkunaa pienennetään, muutoin sitä kasvatetaan (verkon tilan tunnustelemiseksi)

IP otsikko	TCP otsikko	Data
------------	-------------	------

25

## UDP

- **UDP = User Datagram Protocol**
  - **yhteydetön** kuljetuskerroksen päästä-päähän protokolla
  - IP:n päällä vain multipleksointipalvelu
  - ei takeita pakettien perillemenosta (siis epäluotettava)
  - ei vuonohjausta: voi ylikuormittaa vastaanottajan
  - ei ruuhkanhallintaa: voi ylikuormittaa verkon

IP otsikko	UDP otsikko	Data
------------	-------------	------

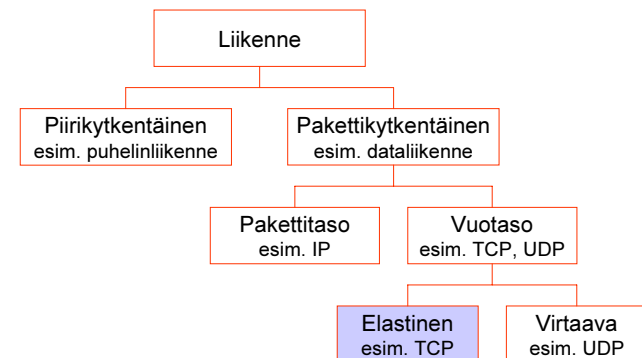
26

## Dataliikenne vuotasolla

- Pitemmässä aikaskaalassa dataverkon liikenteen voidaan ajatella koostuvan **voista** (flow)
  - yksittäinen vuo kuvataan **jatkuvana bittivirtana**, jonka **nopeus** voi vaihdella (eikä siis diskreettinä pakettivirtana)
- Voiden luokittelu:
  - **Elastiset vuot** (elastic flows)
    - lähetyksenopeus sopeutuu vallitsevaan liikennetilanteeseen ruuhkanhallintamekanismilla
    - esim. digitaalisten dokumenttien siirto (HTTP,FTP,...) **TCP**:llä
  - **Virtaavat vuot** (streaming flows)
    - lähetyksenopeus ei riipu verkossa vallitsevasta liikennetilanteesta
    - esim. reaaliaikaiset ääni-, audio- ja videoyhteydet **UDP**:llä siirrettynä

27

## Liikenteen luokittelu



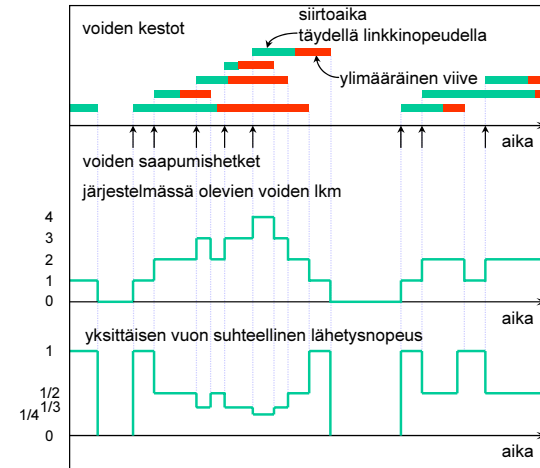
28

## Vuotason malli elastiselle liikenteelle

- Elastinen liikenne koostuu adaptiivisista TCP-voista
  - vuon karakterisointi: **siirrettävän dokumentin koko**
  - vuon lähetysnopeus sekä vuon kesto määräytyvät dynaamisesti!
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
  - voiden saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia voita saapuu)
  - siirrettävien dokumenttien kokojakauma** (kuinka suuria ovat)
- Linkki mallinnetaan **jakojärjestelmänä**
  - koska pääsynvalvontaa ei ole, kaikki vuot pääsevät systeemiin
  - palvelijan palvelunopeus riippuu **linkin kapasiteetista** ja **keskimääräisestä vuon koosta**
  - vuotason mallissa lähetysnopeuden sopeutuminen tapahtuu yhdessä hetkessä ja kapasiteetti jaetaan reilusti tasan kilpailevien voiden kesken
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
  - liikenneprosessi** kertoo systeemissä olevien voiden lkm:n

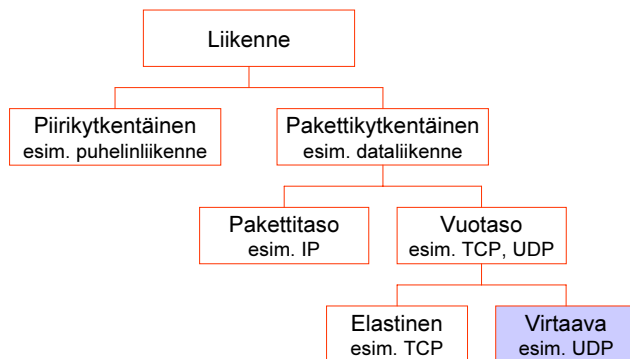
29

## Vuotason liikenneprosessi elastiselle liikenteelle



30

## Liikenteen luokittelu



31

## Virtaavien voiden luokittelu

- Vakionopeuksinen** (CBR = constant bit rate)
  - esim: CBR-koodattu ääni/audio/video
  - pakettitaso: paketit kiinteänpituisia ja niitä generoituu tasavälein
  - vuotaso: vakionopeuksinen bittivirta
  - vuon karakterisointi: **bittinopeus** ja **kesto**
- Vaihtuvanopeuksinen** (VBR = variable bit rate)
  - esim: VBR-koodattu ääni/audio/video
  - pakettitaso: paketit vaihtelevanpituisia ja niitä generoituu epäsäännöllisesti
  - vuotaso: vaihtuvanopeuksinen bittivirta
  - vuon karakterisointi: **bittinopeus ajan funktiona**

32

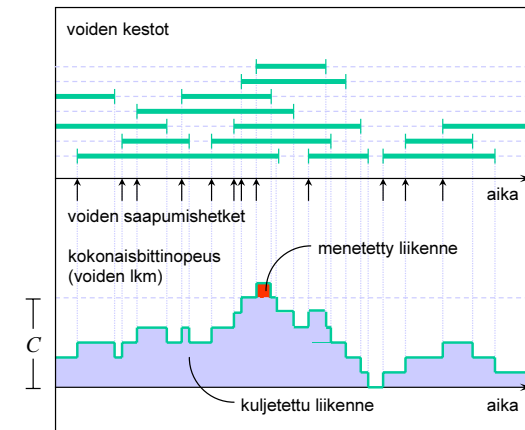


## Vuotason malli virtaavalle CBR-liikenteelle

- Virtaava CBR-liikenne koostuu vakionopeuksisista UDP-voista
  - vuon karakterisointi: **bittinopeus** ja **kesto**
- Tarjotun liikenteen mallinnus:
  - **voiden saapumisprosessi** (millä hetkillä uusia voita saapuu)
  - **voiden kestojaika** (kuinka kauan kestävät)
- Linkki mallinnetaan **äärettömänä järjestelmänä**
  - koska pääsynvalvontaa ei ole, kaikki vuot pääsevät systeemiin
  - virtaavan vuon lähetysnopeus ei reagoi verkon tilaan, eikä verkon tila myöskään vaikuta vuon kestoan
  - palvelijan palvelunopeus riippuu **keskimääräisestä vuon kestosta**
  - ei puskurointia vuotason mallissa: kun voiden yhteinen lähetysnopeus ylittää linkin nopeuden, bittejä katoaa (tasaisesti kaikilta voilta)
- Kuljetetun liikenteen mallinnus:
  - **liikenneprosessi** kertoo systeemissä olevien voiden lkm:n ja samalla tarjotun liikenteen voimakkuuden

33

## Vuotason liikenneprosessi virtaavalle CBR-liikenteelle



34