

# 18

## Jonot ja niiden hallinta

### Luennon sisältö

- Jonojen perusteet
- Erilaiset jonomallit
- Jonojen psykologia

## Jonoja löytyy tuottavaltakin puolelta



Tilaus odottaa valmistusta

Rekat odottelevat purkua/lastausta



Tuotantolinjan asemat odottelevat materiaalia



Lentokoneet odottavat nousua/laskua



Yritys odottaa maksua

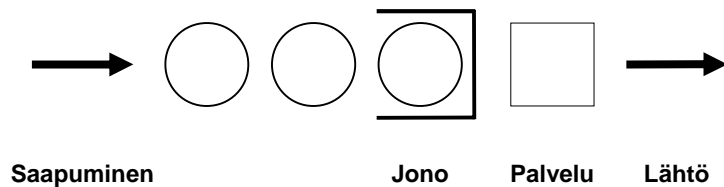
## Odottelu käytännössä varsin merkittävää

Toimiala	Prosessi	"Todellinen" läpimenoaika	Teoreettinen läpimenoaika	Prosessin tehokkuus
Mainonta	Uusi graafinen ilme	18 vrk.	2 t.	0,14 %
Vakuutus	Hakemuksen käsittely	72 t.	7 min.	0,16 %
Pankki	Lainan hyväksyminen	24 t.	34 min.	2,36 %
Sairaala	Laskutus	10 vrk.	3 t.	3,75 %
Auto-rahoitus	Rahoitus-sopimus	11 vrk.	5 t.	5,60 %

## Miksi jonojen huomioiminen on tärkeää?

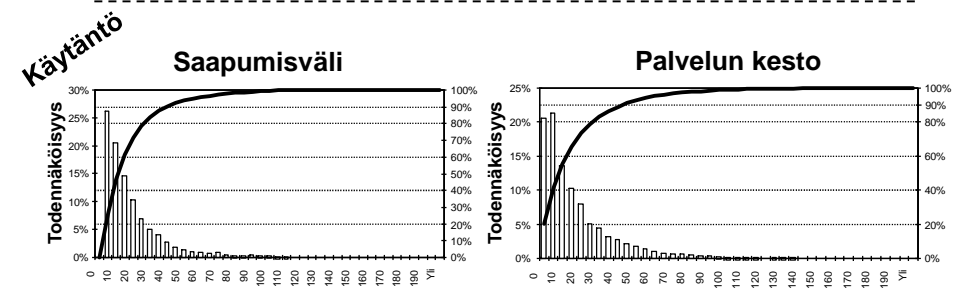
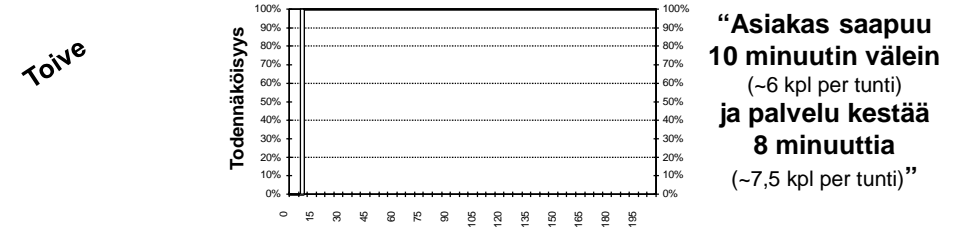
- **Jonoja on kaikkialla ja kukaan ei pidä niistä**
  - kaikista operaatioista löytyy jonoja (tuotannosta ja palveluista)
  - jonotusaika eliniän aikana pelottavan suuri
    - esim. harjoitustyö- ja tenttitulosten odottelu Aalto Biz:ssä
    - tutkimusten mukaan jopa 5-6 vuotta elinajasta!
- **Liittyvät läheisesti kaikkiin operaatioihin**
  - esim. kapasiteetin hallinta, läpimenoajat ja prosessivarastot (WIP)
- **Jonojen hallinnalla strategista merkitystä**
  - perinteinen tehokkuus vs. joustavuus/palvelutaso -päättös pikaruokaloissa, lentokentillä, huvipuistoissa, puhelinpalveluissa
- **Jonojen muodostumista ei voida aina välttää vaikka kuinka yritettäisiin!**

# Mikä jono oikeastaan on?



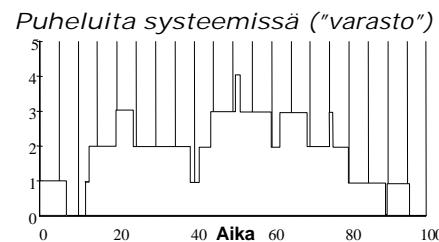
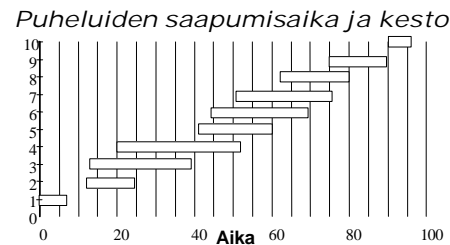
**Jono on asiakkaiden/töiden joukko joka odottaa tarvitsemaansa palvelua yhdeltä tai useammalta palvelijalta/koneelta**  
(jonotutkimus: miten jono syntyy ja käyttäytyy)

# Idealimaailmassa jonoja ei koskaan olisi!



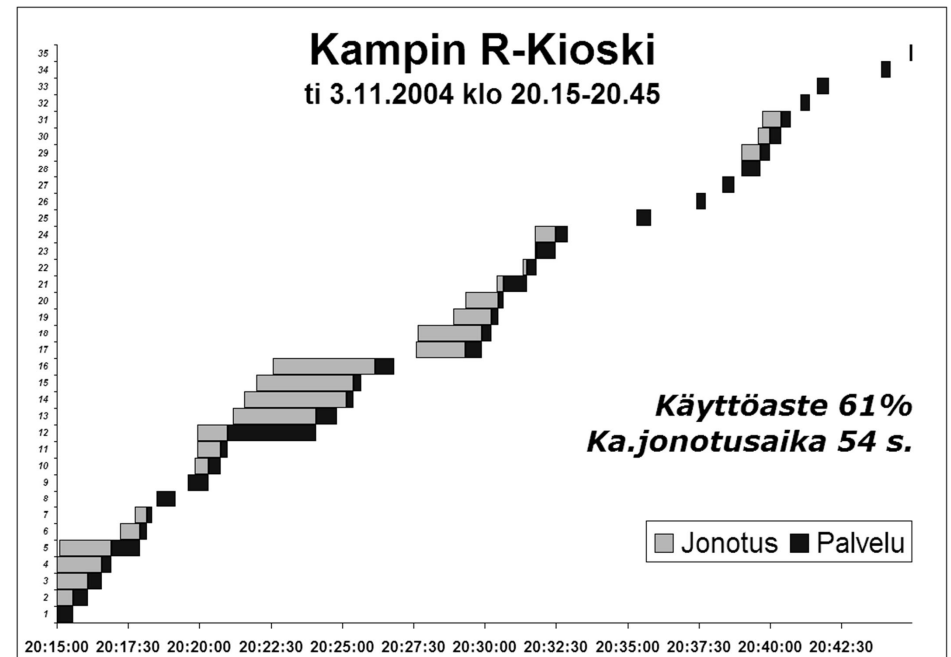
# Jonot syntyvät vaihtelun seurauksena

- **Jonoja muodostuu kun lyhyen ajan kysyntä ylittää tarjolla olevan kapasiteetin**
  - systeemi usein suunniteltu keskimääräisten lukujen perusteella
  - ⇒ **vaihtelu siis synnyttää jonoja**
- **Vaihtelua sekä "saapumisajoissa" että "kestoissa"**
  - esim. soiton ajankohta ja pituus
- **Mitä enemmän vaihtelua on, sitä pidempi odotus!**
  - vaihtelun määrä vaikuttaa negatiivisesti kaikkiin jonotuksen tunnuslukuihin (osoitetaan jatkokurssilla J)



# Kampin R-Kioski

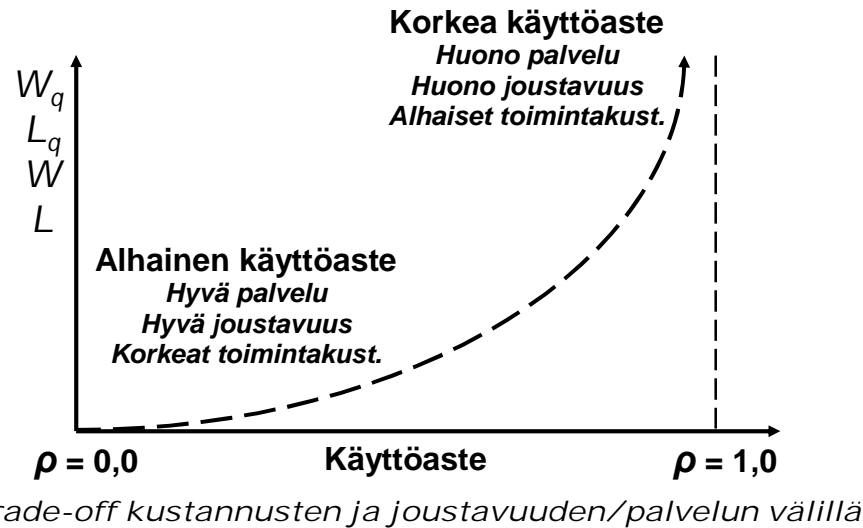
ti 3.11.2004 klo 20.15-20.45



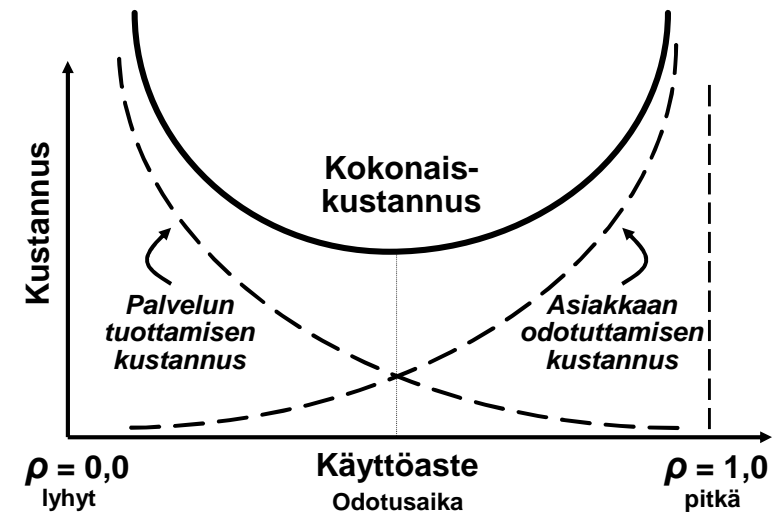
**Käyttöaste 61%**  
**Ka.jonotusaika 54 s.**

■ Jonotus ■ Palvelu

## Jonojen hallinnalla strategista merkitystä



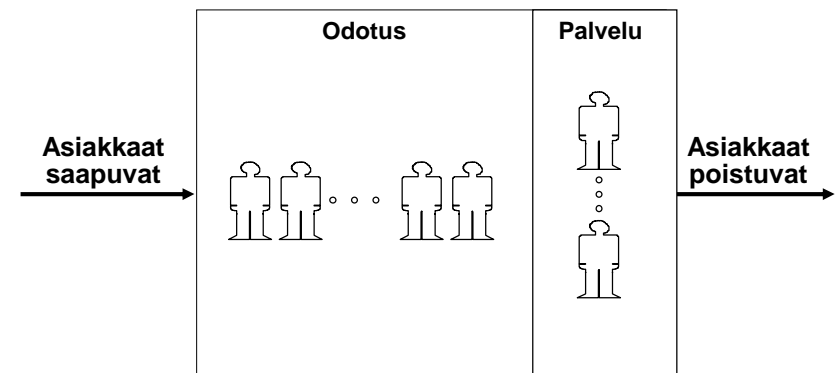
## Jonoillakin kaksi kustannuskomponenttia



## Johto tasapainottelee eri kustannusten välillä

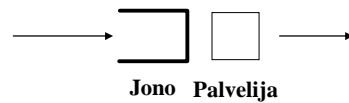
- **Hyvän palvelun tuottaminen maksaa**
  - ylimääräisen kapasiteetin kustannukset
  - investointikustannukset
- **Odotuttaminen ei myöskään ole ilmaista**
  - menetetty/siirtynyt myynti
  - imagolliset vaikutukset tulevaisuuden tuottoihin
  - lisääntyneet muuttuvat kustannukset
  - asiakkaan aika/vaihtoehtoiskustannus
  - menetetty henki (esim. leikkausjonot)
- **Käytännössä odottamisen kustannukset eivät vielä realisoitu täysimääräisesti!**
  - asiakkaat ovat liian kiltejä ja vaatimustaso nousee hitaasti

## Jonosysteemit pääasiassa hyvin samanlaisia

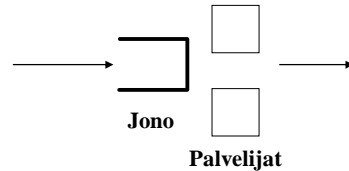


## Pieniä eroja organisoinnissa kuitenkin löytyy

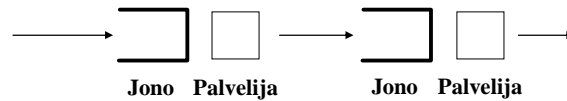
### Aggregointi



### Joustavuus



### Erikoistuminen

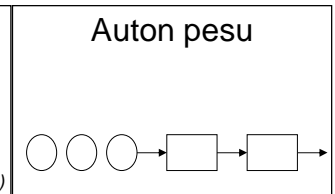
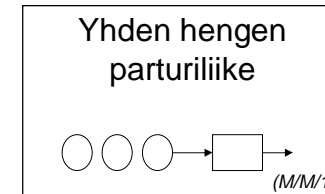


## Jonomallien kannalta prosesseissakin eroja

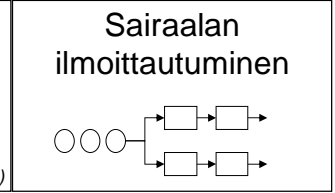
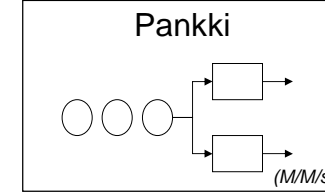
### Yksi vaihe

### Monivaiheinen

### Yksi kanava



### Monta kanavaa

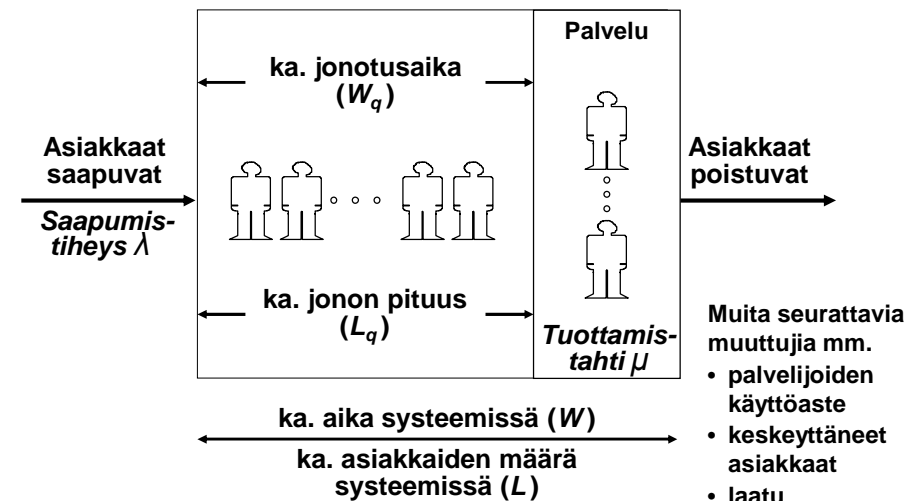


peruskurssin laskujen fokus

## Jonomalleissa tietyt perusmuuttujat

- **Prosessin rakenne**
  - onko yksi- vai monivaiheinen, useita peräkkäisiä vaiheita?
- **Populaation koko ja homogeenisuus**
  - ääretön populaatio vai ei, voidaanko asiakastyypin tunnistaa?
- **Asiakkaiden saapumistiheys  $\lambda$  (kpl per aika!)**
  - oletetaan olevan usein Poisson -funktion muotoinen
  - käytännössä vaihtelee esim. kellonajan mukaan (esim. poliklinikka)
- **Keskimääräinen palvelun tuottamistahti  $\mu$  (kpl per aika!)**
  - oletetaan olevan usein eksponentiaalisen funktion muotoinen
- **Jonotusperiaate ja -prioriteetti**
  - first in - first out, last in - first out, kriittisimmät ensin (esim. tapaturmapoli)...
- **Asiakkaiden käyttäytyminen**
  - esim. kuri; odottaa jonossa, lähtee kesken jonosta, ei jää jonottamaan
- **Palvelijoiden lukumäärän (s) ja organisointi**
- **Jonojen määrä ja maksimikapasiteetti**

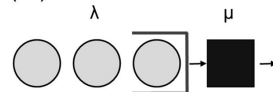
## Mallien huomio samoissa muuttujissa



# Erilaiset jonomallit

## - M/M/1 -

- M/M mallit käytetyimpiä jonomalleja johtuen analysoinnin helppoudesta
- M/M/1 yksinkertaisin jonojärjestelmä
  - asiakaspopulaatio ääretön
  - saapumiset satunnaisia ja Poisson-jakautuneita (M)
  - palveluaika eksponentiaalisesti jakautunut (M)
  - jonotusperiaate FIFO
  - jonottajat "hyvin käyttäytyviä"
  - jonoja 1 kpl ja jonon kapasiteetti ääretön
  - palvelijoita/työasemia rinnakkain 1 kpl (1)



**Tarkkana:**  
lähtöarvot  
kpl per aikayksikkö!

# M/M/1 esimerkki

**Tarkkana:**  
yksiköt  
johdonmukaisesti!

Pikaruokalassa on 1 drive-thru ikkuna. Asiakkaan palvelemiseen menee keskimäärin 3 minuuttia ja vain yhtä asiakasta voidaan palvella kerralla. Asiakkaat saapuvat keskimäärin 4 minuutin välein. Saapumiset jonoon ovat Poisson-jakautuneita ja palveluajat eksponentiaalisesti jakautuneita. Laske keskeiset tunnusluvut.

$$\text{Käyttöaste } \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{60 \text{ min per tunti} / 4 \text{ min per kpl}}{60 \text{ min per tunti} / 3 \text{ min per kpl}} = \frac{15 \text{ kpl per tunti}}{20 \text{ kpl per tunti}} = 0,75 = 75\%$$

$$\text{Ka. asiakkaiden määrä systeemissä } L = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} = \frac{15}{(20 - 15)} = 3,00 \text{ as.}$$

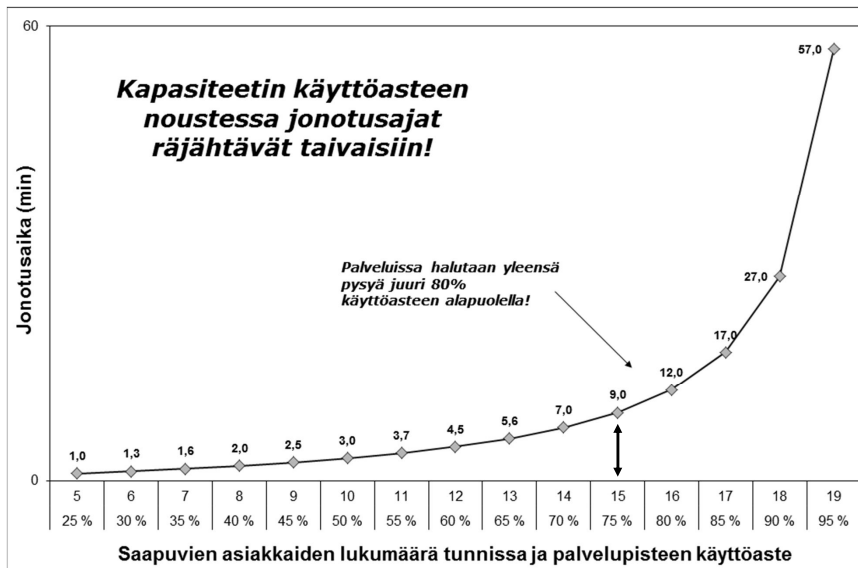
$$\text{Keskimääräinen jonon pituus } L_q = \rho L = 0,75 * 3 = 2,25 \text{ as.}$$

$$\text{Ka. asiakkaiden aika systeemissä } W = \frac{1}{(\mu - \lambda)} = \frac{1}{(20 - 15)} = 0,2 \text{ t.} = 12 \text{ min.}$$

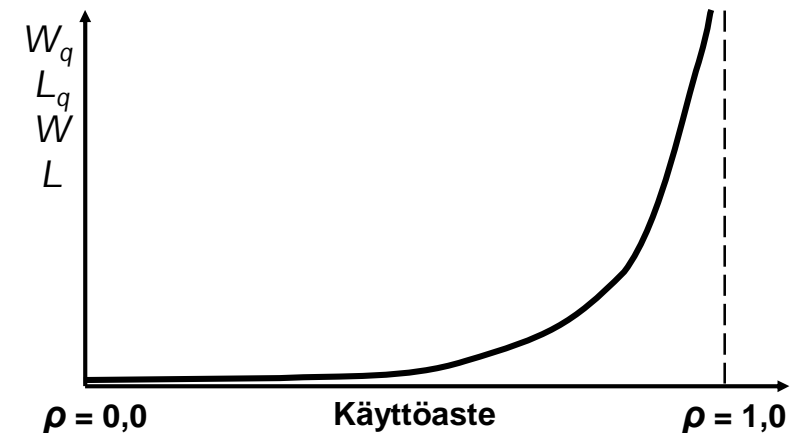
$$\text{Keskimääräinen jonotusaika } W_q = \rho W = 0,75 * 12 \text{ min} = 9 \text{ min.}$$

# M/M/1 esimerkki

- case mitä tapahtuu jos asiakasmäärät muuttuvat -

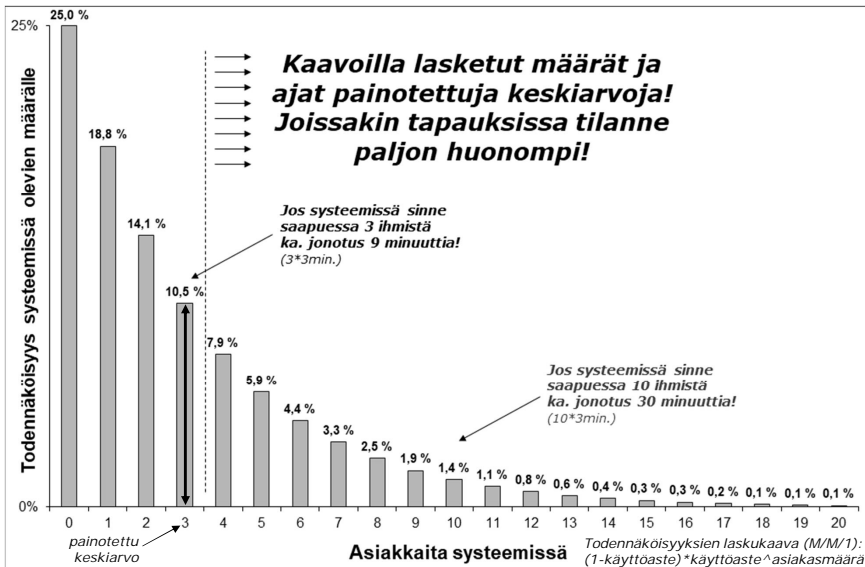


# Käyttöaste vaikuttaa kaikkiin tunnuslukuihin

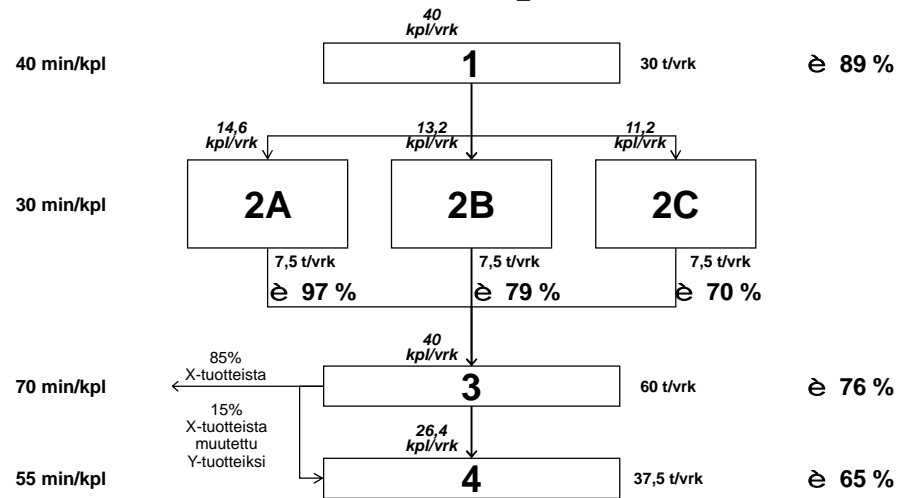


## M/M/1 esimerkki

- case tulokset painotettuja keskiarvoja, eivät vakioita! -



## Perusperiaatteet toimivat myös monivaiheisissa prosesseissa



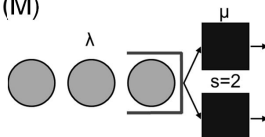
Miksi tilaus-toimitusviipeemme on niin pitkä?

## Erilaiset jonomallit

- M/M/s -

• Tilanne muutoin sama kuin M/M/1, paitsi että palvelijoita on nyt useita rinnakkain (s kpl)

- asiakaspopulaatio ääretön
- saapumiset satunnaisia ja Poisson-jakautuneita (M)
- palveluaika eksponentiaalisesti jakautunut (M)
- jonotusperiaate FIFO
- jonottajat "hyvin käyttäytyviä"
- jonoja 1 kpl ja jonon kapasiteetti ääretön
- palvelijoita/työasemia rinnakkain s kpl (s)



• Realistisempi tilanne koska systeemeissä yleensä enemmän kuin yksi palvelija

• Jonojen kombinointi vähentää jonotusaikaa!

- työntekijöiden joutenoloaika kohdistuu paremmin/tehokkaammin

## Erilaiset jonomallit

- keskeiset M/M/s kaavat -

Käyttöaste  $\rho$

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$$

← yksittäisen palvelijan tuottamistahti

Todennäköisyys joutenololle  $P(0)$   
(kaikki palvelijat samanaikaisesti)

$$P(0) = \left[ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}$$

← potenssina "tapauskohtainen" s

Keskimääräinen jonon pituus  $L_q$

$$L_q = \frac{P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s \rho}{s! (1-\rho)^2}$$

← potenssina aina 2

Keskimääräinen jonotusaika  $W_q$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

Ka. asiakkaiden aika systeemissä  $W$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Ka. asiakkaiden määrä systeemissä  $L = \lambda W$

## M/M/s esimerkki

Pikaruokalassa on 4 drive-thru ikkunaa (edelliseen verrattuna siis neljä kertaa enemmän kapasiteettia). Asiakkaan palvelemiseen menee keskimäärin 3 minuuttia. Asiakkaat saapuvat keskimäärin 1 minuutin välein (edelliseen verrattuna neljä kertaa enemmän kysyntää). Saapumiset jonoon ovat Poisson-jakautuneita ja palveluajat eksponentiaalisesti jakautuneita. Laske keskeiset jonottamisen tunnusluvut.

$$\text{Kassojen käyttöaste } \rho = \frac{\lambda}{s\mu} = \frac{60}{(4 * 20)} = 0,75 = \text{75\%} \text{ vrt. 75\%}$$

Todennäköisyys, että kaikki 4 kassaa samanaikaisesti jouten:

$$= \left[ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left( \frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1} = \left[ \sum_{n=0}^3 \frac{(60/20)^n}{n!} + \frac{(60/20)^4}{4!} \left( \frac{1}{1-0,75} \right) \right]^{-1} = 0,0377 = 3,77\%$$

Ka. jonon pituus  $L_q$ :

$$= \frac{P_0 \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^s \rho}{s! (1-\rho)^2} = \frac{0,0377 * \left( \frac{60}{20} \right)^4 * 0,75}{4! (1-0,75)^2} = \text{1,52 as.} = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{1,52}{60} = \text{1,52min}$$

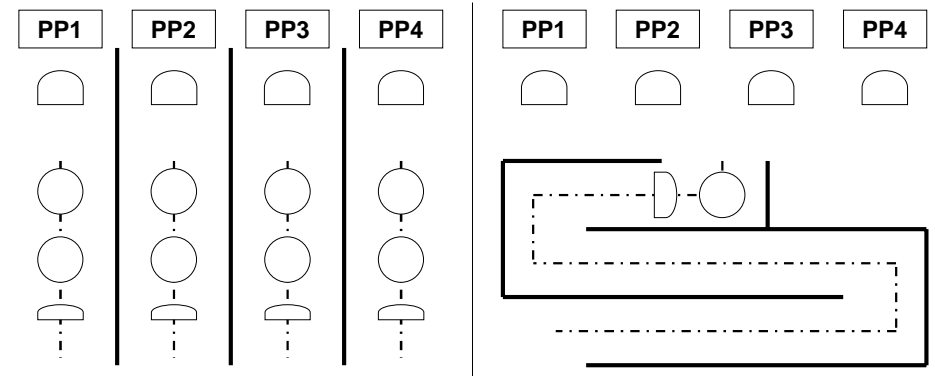
vrt.  $4 * 2,25 = 9 \text{ kpl}$  vrt. 9 min.

Ka. jonotusaika  $W_q$ :

$$= \frac{L_q}{\lambda} = \frac{1,52}{60} = \text{1,52min}$$

vrt. 9 min.

## Kombinointi vähentää jonotusaikaa!



ka. jonotusaika 9 min.

ka. jonotusaika 1,5 min.

*Työntekijöiden joutenoloaika kohdistuu paremmin*

(huomioi kyllä huonosti asiakkaiden heterogeenisyyden, siirtymisen vaivan, kassojen erilaiset roolit (käteis- vs. pikakassa), henkilökohtaiset preferenssit jne.)

## Erilaiset jonomallit

- keskeiset "äärellinen popula" kaavat -

(käytetään kun popula alle 30 asiakasta) "tapauskohtainen" asiakasmäärä

yksittäisen asiakkaan saapumistiheys

$$\text{Todennäköisyys joutenololle } P(0) = \left[ \sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$$

Käyttöaste  $\rho$

$$= 1 - P_0$$

Ka. asiakkaiden määrä systeemissä L

$$= N - \frac{\mu}{\lambda} (1 - P_0)$$

Keskimääräinen jonon pituus  $L_q$

$$= N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0)$$

Ka. asiakkaiden aika systeemissä W

$$= L [(N - L)\lambda]^{-1}$$

Keskimääräinen jonotusaika  $W_q$

$$= L_q [(N - L)\lambda]^{-1}$$

kertoma Excelissä; =FACT()

## Äärellinen popula esimerkki

Pankilla on pääkonttorissaan 8 kopiokonetta. Koneita käytetään jatkuvasti ja ne hajoavat keskimäärin 50 tunnin välein (eli 0,02 kertaa per tunti per kone). Rikkoutuneen koneen korjaamiseen menee talon ainoalta korjaajalta 4 tuntia (eli saa korjattua 0,25 konetta per tunti). Kuinka monta kopiokonetta on ka. poissa käytöstä?

Todennäköisyys joutenololle  $P(0)$

$$= \left[ \frac{8!}{(8-0)! (0,25)^0} + \frac{8!}{(8-1)! (0,25)^1} + \frac{8!}{(8-2)! (0,25)^2} + \frac{8!}{(8-3)! (0,25)^3} + \frac{8!}{(8-4)! (0,25)^4} + \frac{8!}{(8-5)! (0,25)^5} + \frac{8!}{(8-6)! (0,25)^6} + \frac{8!}{(8-7)! (0,25)^7} + \frac{8!}{(8-8)! (0,25)^8} \right]^{-1}$$

$$= [1 + 0,64 + 0,3584 + 0,1720 + 0,0688 + 0,0220 + 0,0053 + 0,0008 + 0,0001]^{-1} = 0,441$$

Käyttöaste  $\rho$

$$= 1 - 0,441 = 55,9\%$$

$$\text{Ka. asiakkaiden määrä systeemissä } L = 8 - \frac{0,25}{0,02} (1 - 0,441) = 1,01$$

$$\text{Keskimääräinen jonon pituus } L_q = 8 - \frac{0,02 + 0,25}{0,02} (1 - 0,441) = 0,45$$

$$\text{Ka. asiakkaiden aika systeemissä } W = 1,01 [(8 - 1,01)0,02]^{-1} = 7,25 \text{ t.}$$

$$\text{Keskimääräinen jonotusaika } W_q = 0,45 [(8 - 1,01)0,02]^{-1} = 3,25 \text{ t.}$$

## Jonot ja simulointi

- Vain yksinkertaisia jonoja voidaan ratkaista matemaattisesti
- Todellisuudessa jonot ovat erittäin monimutkaisia...
  - useita palvelijoita, useita jonoja
  - ei tulla paikalle, ei jäädä jonottamaan, lähdetään jonosta kesken pois, etuillaan jonossa, vaihdetaan jonoa, "kettuuillaan"...
  - koneiden hajoaminen
  - jonojen verkosto jne.
- ... siitä huolimatta niitä pitää pystyä analysimaan ⇒ tietokonesimuloinnit

## Miten odotusaikaa voidaan lyhentää?

- Kasvattamalla pysyvää kapasiteettia tai ottamalla varakapasiteetin käyttöön kysyntähuipun ajaksi
  - yksinkertaisimmillaan lisäämällä palvelijoiden määrää ja/tai tehokkuutta
  - yhteiskapasiteettiallianssit, työntekijöiden kouluttaminen, joustavan työvoiman ylläpito, pitämällä jatkuvasti ylimääräistä kapasiteettia...
- Tasapainottamalla kysyntä vastaamaan resursseja
  - melkein kaikki kysynhallintamenetelmät käyttökelpoisia
- Pientämällä saapumis- ja palveluaikojen hajontaa
  - mitä enemmän vaihtelua prosessissa on, sitä pidemmät jonot!
  - esim. segmentoimalla asiakkaita, rajaamalla tuotevalikoimaa...
    - erikoistuminen luonnollisesti myös parantaa tehokkuutta ja nopeuttaa
- Analysoimalla ja kehittämällä prosessia
  - uudelleensuunnitelmalla kriittiset vaiheet (ja poistamalla turhat vaiheet)
  - esim. rinnakkaiset palvelijat (M/M/s opit J), suunnittelemalla tila toimivaksi...

## Miksi jonottaminen on niin hajottavaa?



Aikaa menee hukkaan

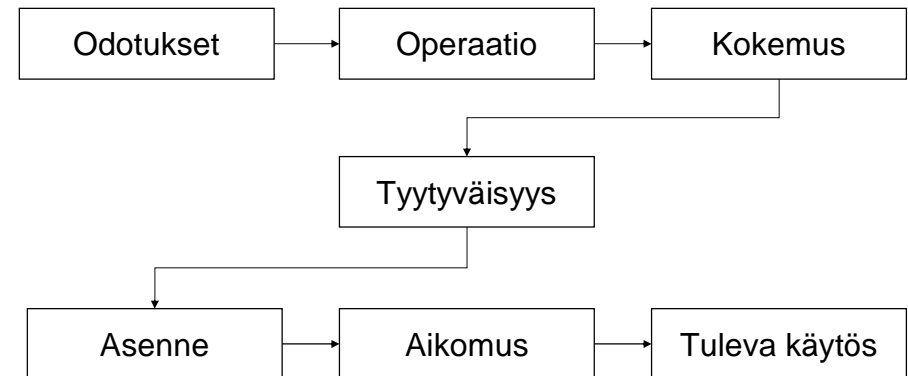


Oikeustaju kärsii välillä



Puhdas tylsistyminen

## Miksi jonotuskokemusta tulisi ymmärtää?

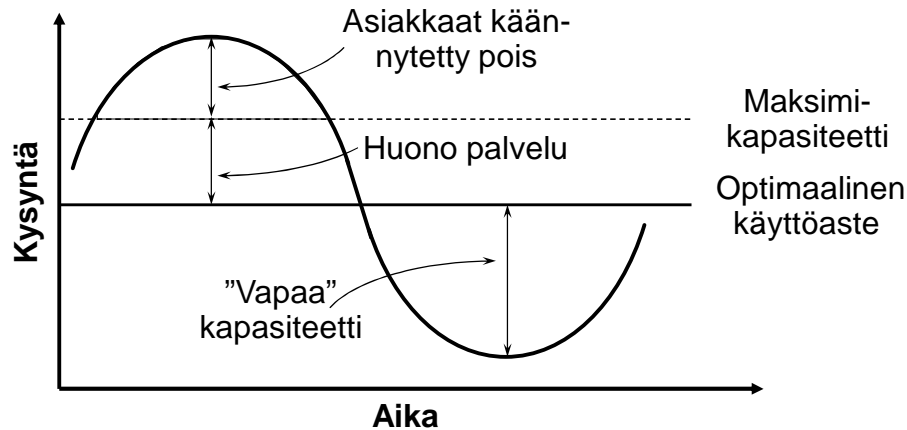


**Tyytyväisyys ohjaa käytöstä!**



## Palveluiden käyttöasteet syystä alhaisia

- **Kapasiteetti tärkeä osa myös palveluissa**
  - jonoteorian vuoksi optimaalinen käyttöaste noin 70-80%

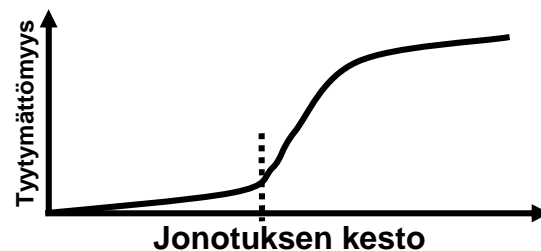


## Jonottamisesta monia tutkimustuloksia

- **Arvokasta asiaa sekä positiivista palvelukokemusta jaksaa jonottaa pidempään**
- **Prosessin aikaiset odottelut tuntuvat lyhyemmiltä kuin prosessi alun odottaminen**
- **Jonottaminen tuntuu todellisuutta pidemmältä**
  - ...kun jonotuksen syytä ei tiedä / ei selitetä (esim. "miksi jono ei liiku")
  - ...kun jonotustilanne on odottamaton (esim. "ei enää pitänyt olla ruuhkaa")
  - ...kun tietää/näkee, että kapasiteettia on vapaana (esim. myyjät juttelee)
  - ...kun joutuu jonottamaan yksin (ryhmässä aika lentää)
  - ...kun jonottaminen tuntuu epäoikeudenmukaiselta (järjestys ei FIFO)
- **Jonottajan mieliala vaikuttaa jonotuksen kokemiseen (monimutkaistaa kaikkea)**

## Asiakas kestää tietyn verran jonottamista

- **Systeemiä suunnitellessa huomioitava, että jonotuksen keston ja tyytymättömyyden lisääntyminen ei ole lineaarinen**
  - "below the threshold" -lähestyminen toimintaa suunnitellessa
    - monta pientä odotusta pienempi paha kuin yksi iso!
  - ei pelkästään psykologinen muuttuja
    - esim. tulipalojen sammuttaminen ja varkaiden kiinnisaaminen



## Miten jonotuskokemusta voisi parantaa?

### Tehokkuus

- **Omat jonot eri tarpeille**
  - esim. pikatiskit ja nykyään pankit
- **Asiakkaiden itsepalvelu**
  - puhelinpalvelussa "paina 1 jos", FAQ
- **Tehtävien etukäteen tekeminen**
  - "täytä lomakkeet", kanta-asiakaskortit
- **Kahden jonon käyttäminen yhdelle palvelijalle**
  - ettei asiakas tuhlaa palveluaikaa

### Oikeudenmukaisuus

- **Odotusajan tasainen jako**
  - jonojen kombinointi auttaa
  - jos ei FIFO hyvä pitää tieto salassa
- **Jonotusnumeroiden käyttö**
  - kenellekään ei tule paha mieli
  - turhan kiirehtimisen poistaminen

### Tylsistyminen

- **Ympäristöön panostaminen**
  - esim. musiikki, penkit, ohjelmanumerot
- **Odotusajan kertominen**
  - ainakin jos asiakas yliarvioi odotuksen
- **Odotuskäsityksen hallinta**
  - liikkuminen vs. paikallaan seisominen
  - jonon liikkuttaminen (pienet täyttöerät)
  - pienten asioiden tekeminen (ravintola)
- **Odottajien aktivointi**
  - muiden asioiden hoitaminen (tiedostama ja tiedostamaton)
- **Odotuksen palkitseminen**
  - esim. alennus (ei poistu kesken kaiken)
- **Varausjärjestelmän käyttö**
  - mahdollisuus välttää jonottaminen
- **Ystävällinen palvelu**