



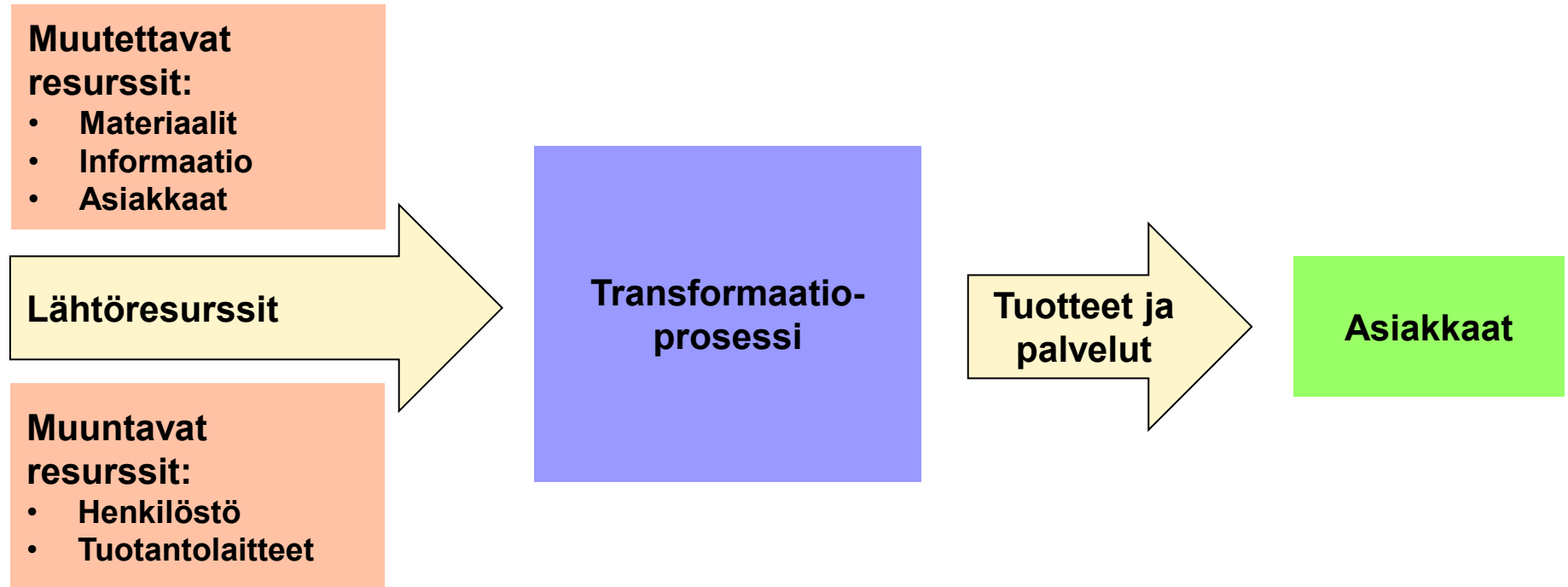
Aalto University

# Tuotantojärjestelmät, tuotannon ohjaus ja prosessit

*TU-A1100 Tuotantalous I  
Aalto University, School of Science, Department of Industrial Engineering & Management  
23.01.2024  
Tero Hahtela*

# Tuotantojärjestelmä

Tapa jolla tuotannontekijöitä käytetään ja yhdistetään muutoksen toteuttamiseksi ja niiden muuttamiseksi tavaroiksi ja palveluiksi



# Autoteollisuuden kehityskulku

## **Käsityötä 1890 –**

- Rolls Royce, Morgan, Ferrari
- Kalliita, laadukkaita, räätälöityjä tuotteita
- Tuotanto satoja autoja vuodessa



## **Massatuotanto 1910 –**

- Ford
- Vakioitu tuote ja prosessi, Halvempi tuote
- Tuotanto tuhansia autoja päivässä



## **Tuotevalikoima 1920 –**

- GM
- Erikoistuminen, jakelukanavien ja toimittajien hyödyntäminen
- Laajempi tuotekirjo



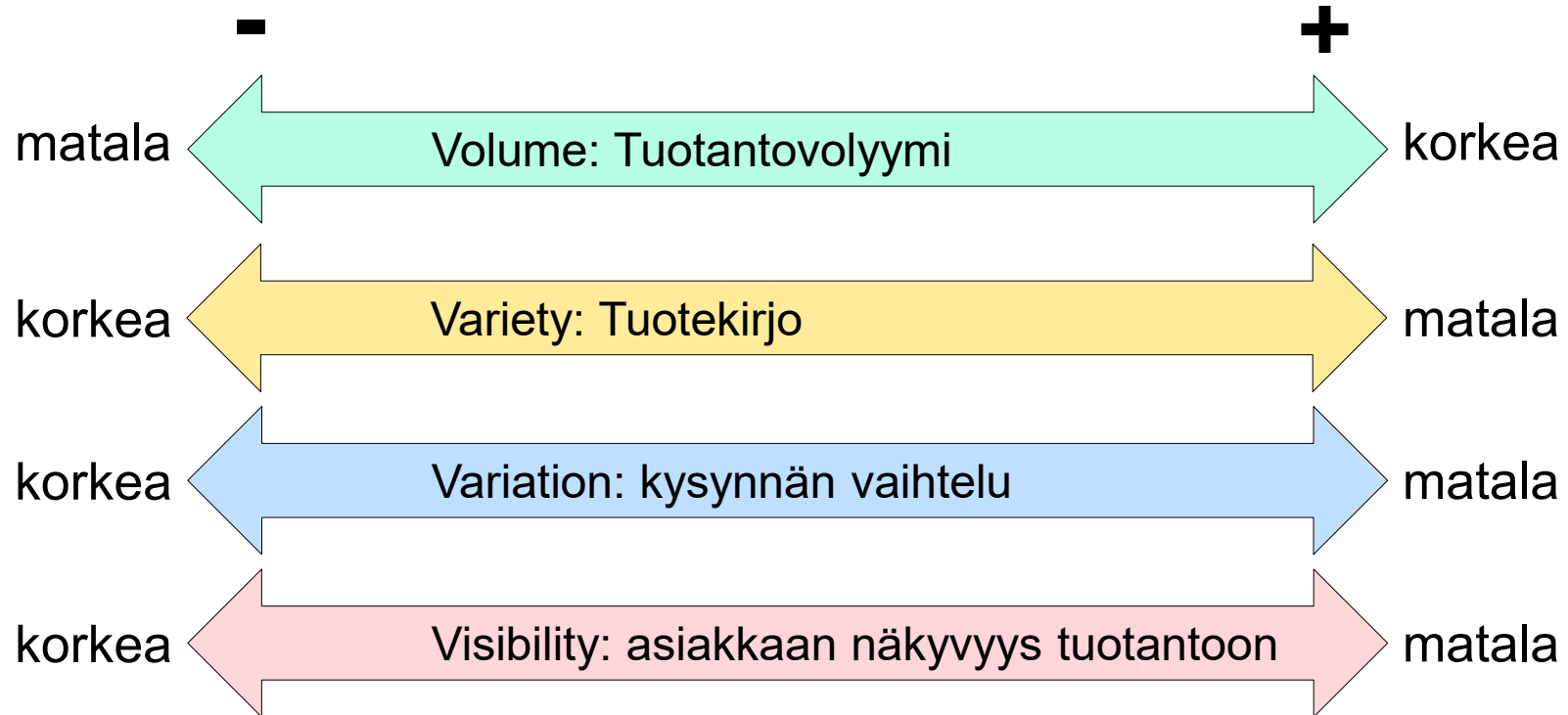
## **JOT\* 1980 –**

- Toyota
- Tuotannonohjaus, toimittajayhteistyö
- Enemmän räätälöintiä, laadukasta

*\*Juuri Oikeaan Tarpeeseen*



# Operaatioiden johtamisen neljä V:tä ja niiden vaikutukset tuotantojärjestelmän tehokkuuteen



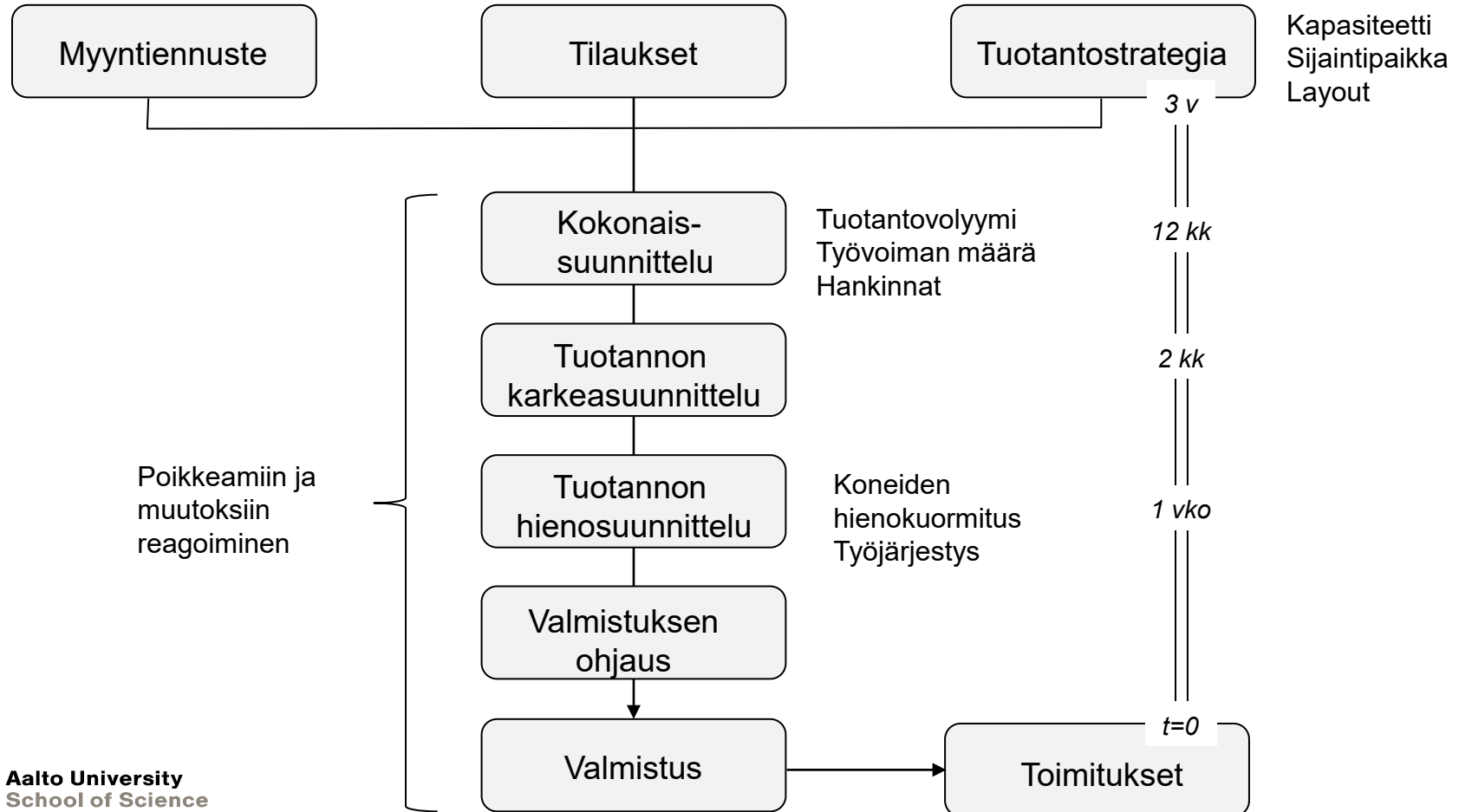
# Mitkä tekijät aiheuttavat kysynnän vaihtelua?

Millaisella ajanjaksolla asiaa tarkastellaan

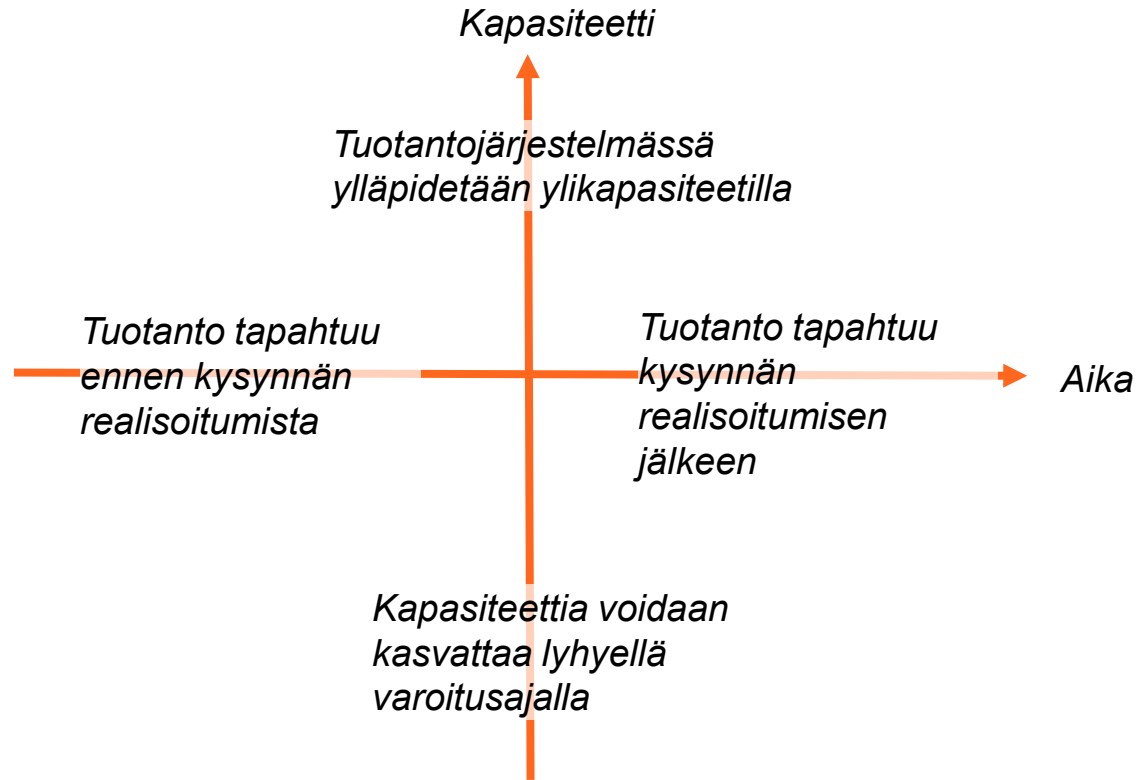
- Tuotteen elinkaaren vaihe
- Vuodenaika
- Sää
- Patoutunut kysyntä
- Suhdannevaihtelu
- Kilpailutilanne
- Kuluttajien mieltymykset
- Hinnan vaihtelu



# Tuotannon suunnittelu huomioiden kysynnän vaihtelu

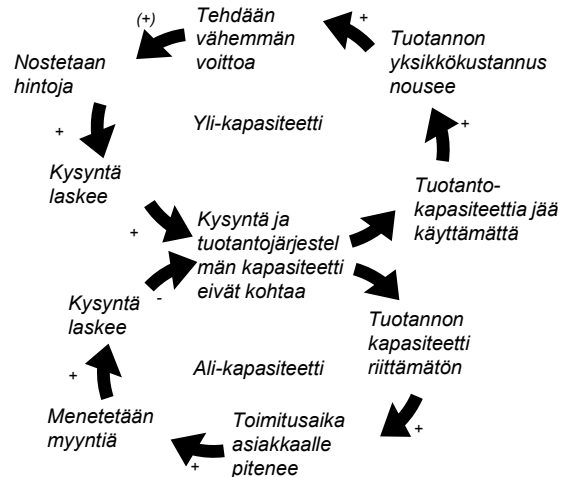


# Vaihtelevaan kysyntään varaudutaan puskuroimalla tuotantojärjestelmä



# Vaihteleva kysyntä on haasteellista kenelle tahansa. Miten se hanskataan...

## Kysynnän vaihtelu (Variation)

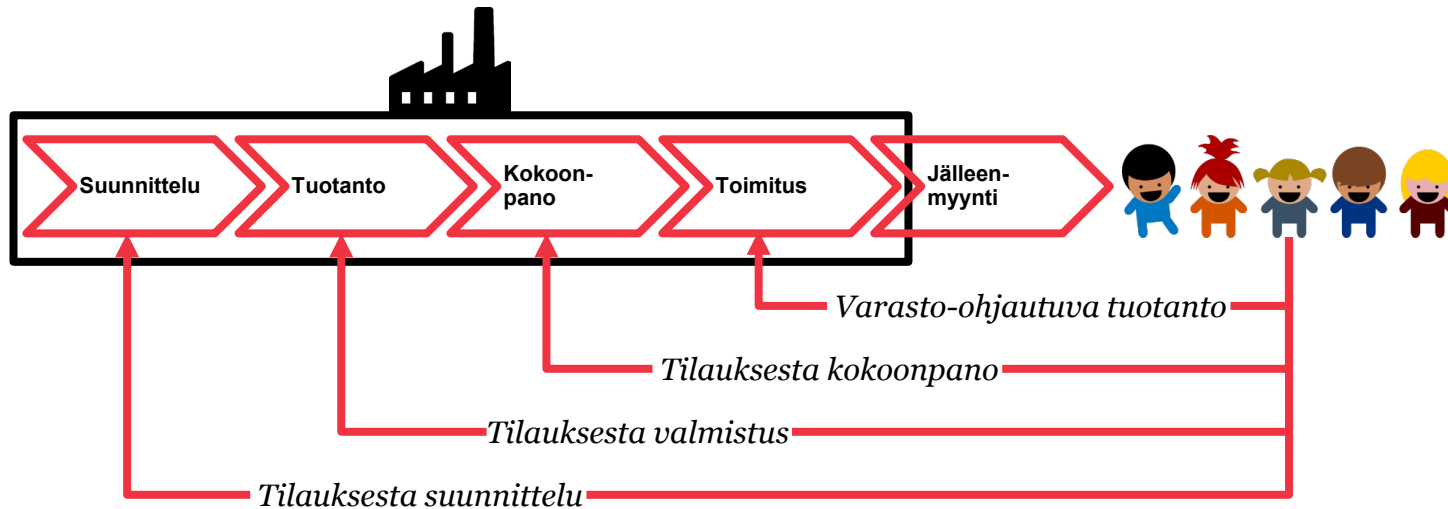


... riippuu siitä

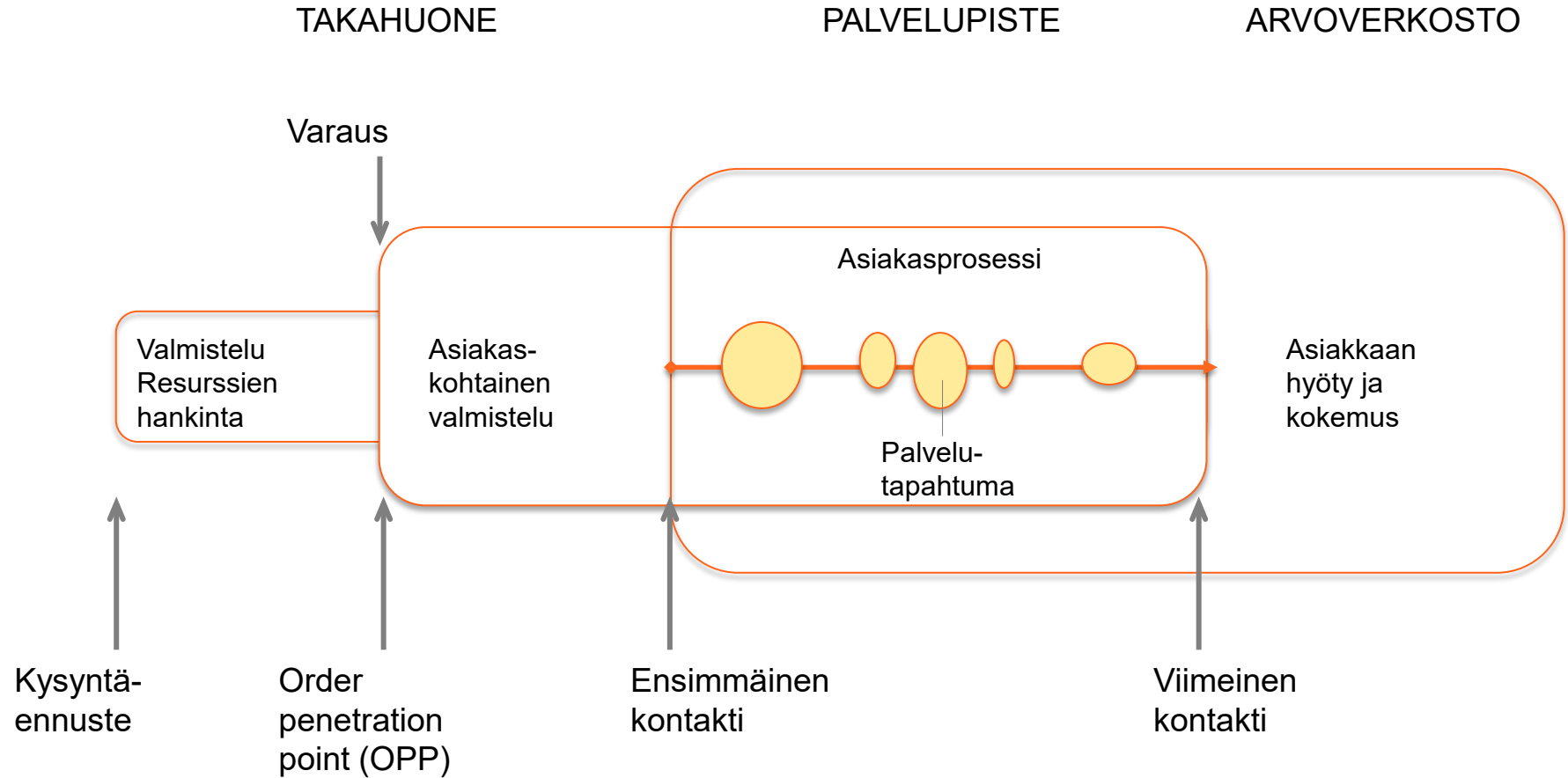
- **Minkä tyyppisiä tuotantoresursseja käytetään**
  - Ihmisresurssit (erityisesti käsityövoimainen tuotanto) voidaan mieltää kapasiteetiltaan suhteellisen joustavaksi
- **Minkä arvoisia valmistettavat tuotteet ovat**
  - Varastot ovat hyviä, kunhan niihin sidottu pääoma pysyy kohtuullisena eikä tavara vanhene tai pilaannu
- **Miten erikoistunut tuotantojärjestelmä on**
  - Kysynnältään (määrällisesti) toisiaan täydentäviä tuotteita on hankala tuottaa hyvin erikoistuneissa tuotantojärjestelmissä
- **Kysynnän kiireellisyys**
  - Joissakin tuotantojärjestelmissä ylimitoitettu kapasiteetti on hyväksyttävä(ä)



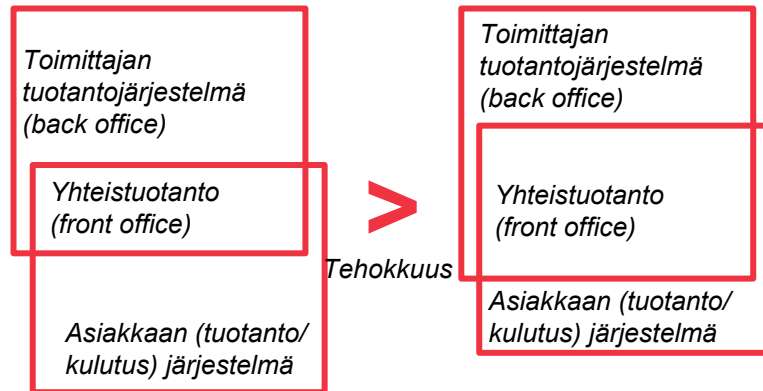
# Asiakkaan tilauksen kohdennuspiste kuvaa myös asiakkaan vaikutusta tuotantojärjestelmään



# Tilaus kohtaa tuotannon palveluissa



# Kun asiakas on mukana tuotannossa tehokkuus jää haaveeksi...



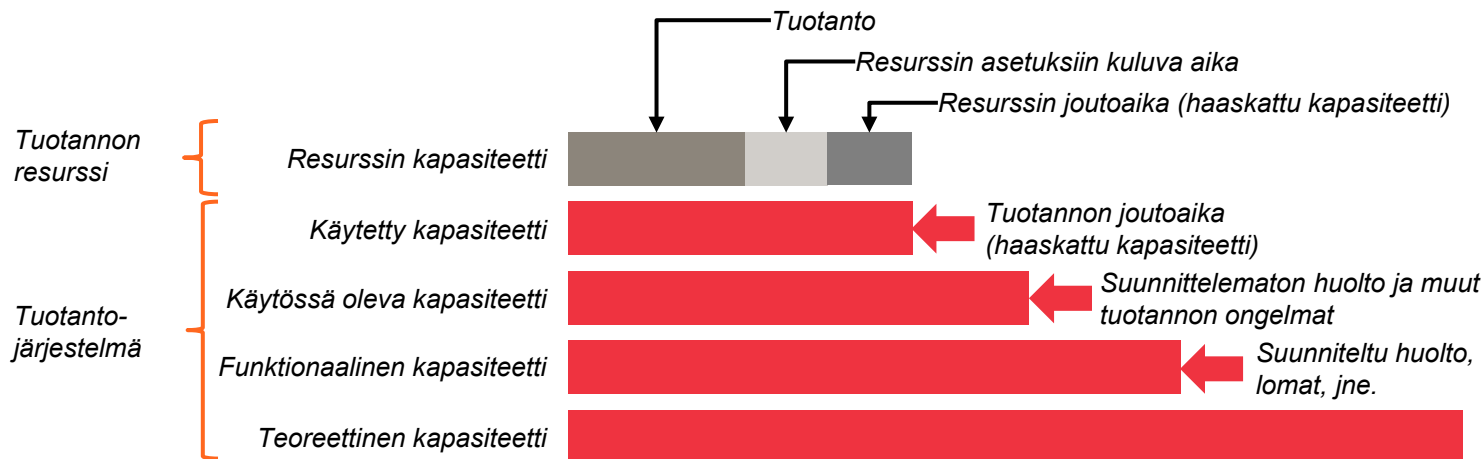
Asiakkaan näkyvyys  
tuotantoon (Visibility)

... vai jääkö?

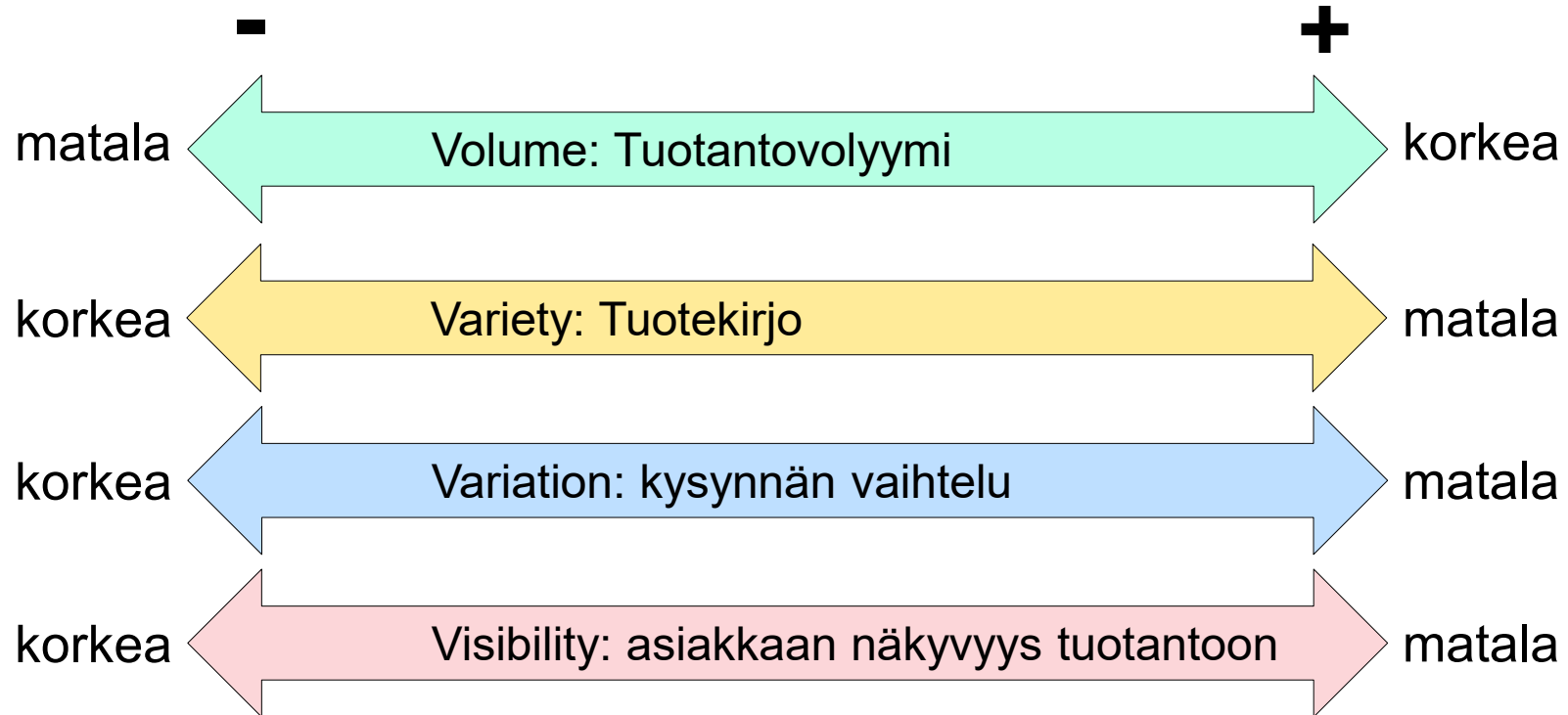
- **Tehokkuus ei välttämättä ole relevantin mittari, kun asiakas on osa tuotantoa**
  - Asiakaskokemuksella voi olla suurempi vaikutus kannattavuuteen kuin tuotantokustannuksilla
- **Tuotantojärjestelmä voidaan jakaa kahteen osaan**
  - Se osa jossa asiakas on mukana tuotannossa voi keskittyä asiakaskokemukseen
  - Taustatuotannossa voidaan keskittyä tehokkuuteen
  - Näiden kahden osan välinen rajapinta on ratkaisevan tärkeä tehokkaan toiminnan kannalta

# Tuotantojärjestelmän kapasiteetti

- Tuotantojärjestelmän pienimmän kapasiteetin omaava tuotantoresurssi määrittää koko järjestelmän kapasiteetin
  - ts. tuotannon pullonkaula
- Suuremman tuotekirjon järjestelmissä pullonkaula saattaa muuttua valmistettavasta tuotteesta riippuen
  - Tuotantosuunnittelun painajainen

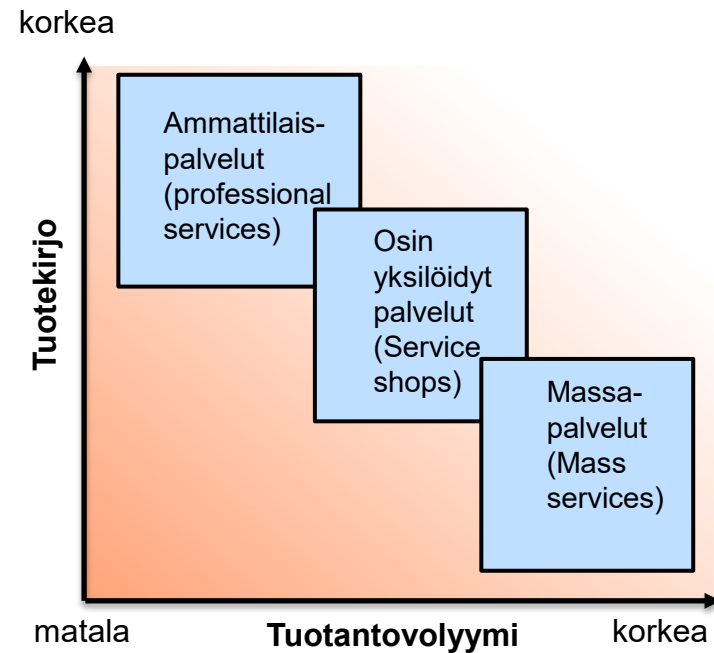
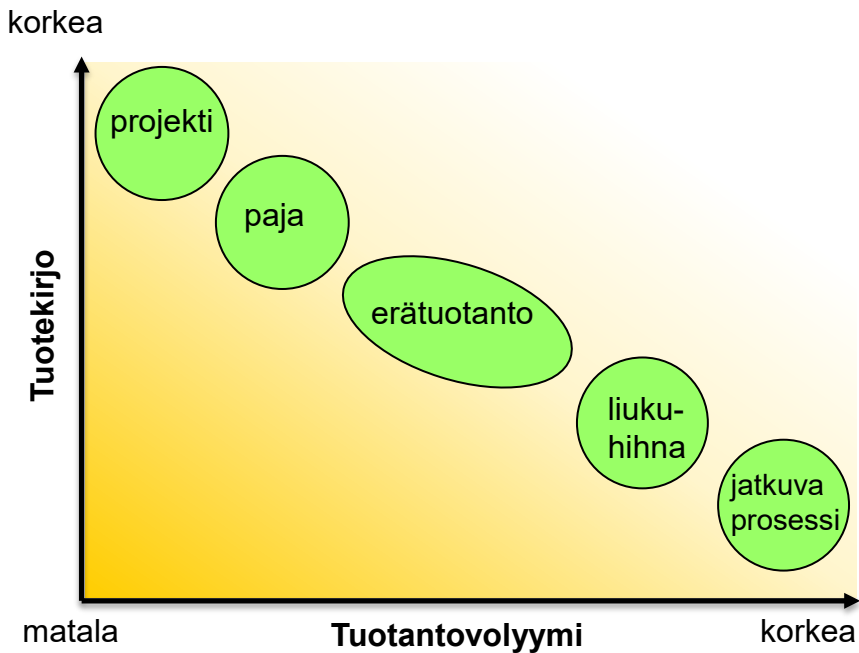
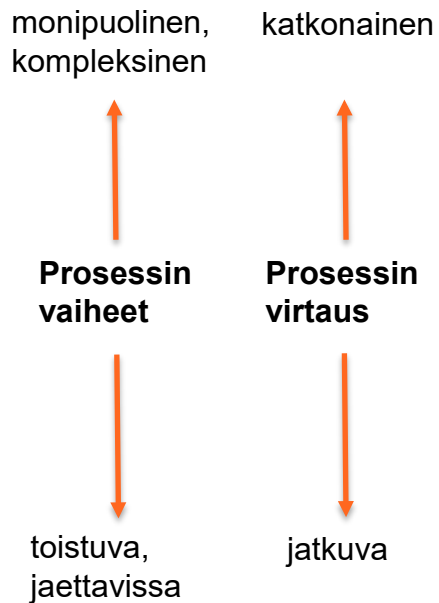


# Tuntiharjoitus: pohtikaa Ferrarin ja Toyotan tuotantojärjestelmien tehokkuutta seuraavista näkökulmista



## Tuotteiden valmistuksen tuotantojärjestelmä

## Palveluiden tuotantojärjestelmä



# Projekti



**Paja/verstas/solu**





# Erätuotanto



# Massatuotanto (liukuhihna)



# Jatkuva prosessi (prosessituotanto)

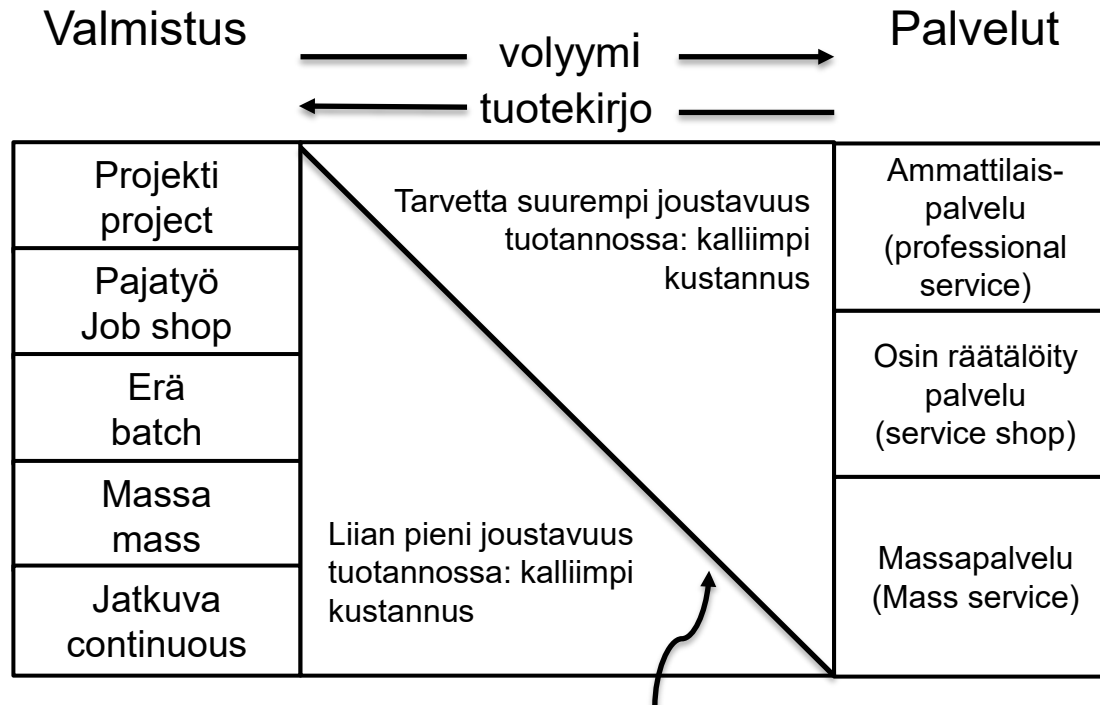


# Suljettu vai avoin tuotantojärjestelmä



| <b>SULJETTU JÄRJESTELMÄ</b> | <b>AVOIN JÄRJESTELMÄ</b>   |
|-----------------------------|----------------------------|
| Tavaralogiikka (GDL)        | Palvelulogiikka (SDL)      |
| Standardiprosessit          | Rutiiniprosessit           |
| Prototyypistä kopioita      | Asetus joka kontaktissa    |
| Varaston hallinta           | Kapasiteetin hallinta      |
| Arvovirta plus / miinus     | Arvovirta kertolaskua      |
| Arvo tuotteessa             | Arvo tapahtumassa          |
| Omistusoikeus               | Oikeudet ja velvollisuudet |
| Kysyntä ajanvarauksella     | Kysyntä satunnaista        |
| Vaihtelu minimoidaan        | Vaihtelu absorboidaan      |

# Optimaalinen tuotantoprosessi tuotantomäärän/tuotekirjon mukaan

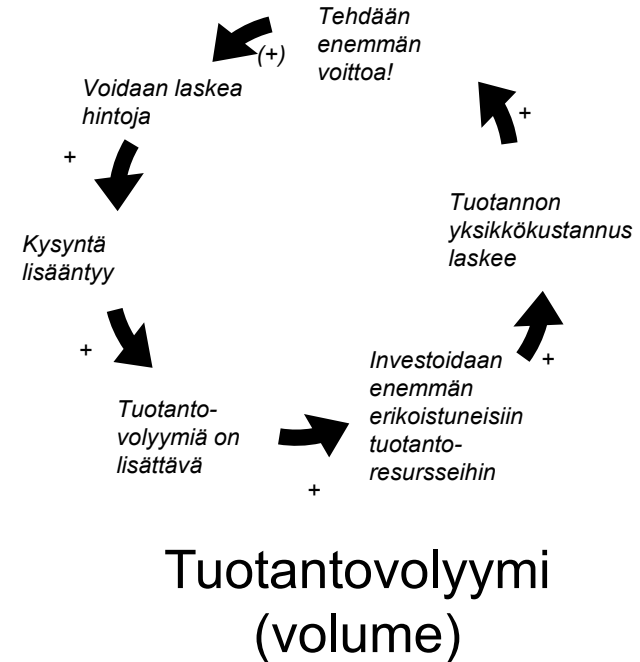


“optimaalinen” tuotantoprosessi  
tuotantomäärän/tuotekirjon mukaan

# Tuotannossa mittakaavaedut otetaan helposti itsestään selvyytenä, kuitenkin...

... ne riippuvat

- **Tuotannon resurssien luonteesta**
  - Erikoistunut teknologia skaalautuu
  - Ihmiset eivät yhtä paljon
    - *Mittakaavaedut palveluissa selvästi heikompia*
- **Tuotteen luonteesta**
  - Yksinkertainen rakenne skaalautuu
  - Kompleksinen rakenne vaatii standardointia
    - *Standardointi alkaa työkaluista*
- **Tuotantoprosessin luonteesta**
  - Tuotekirjo rajoittaa erikoistuneen teknologian käyttöä, ja tuotantoon liittyviä haasteita
    - *Suuri tuotekirjo on myrkkyä!*

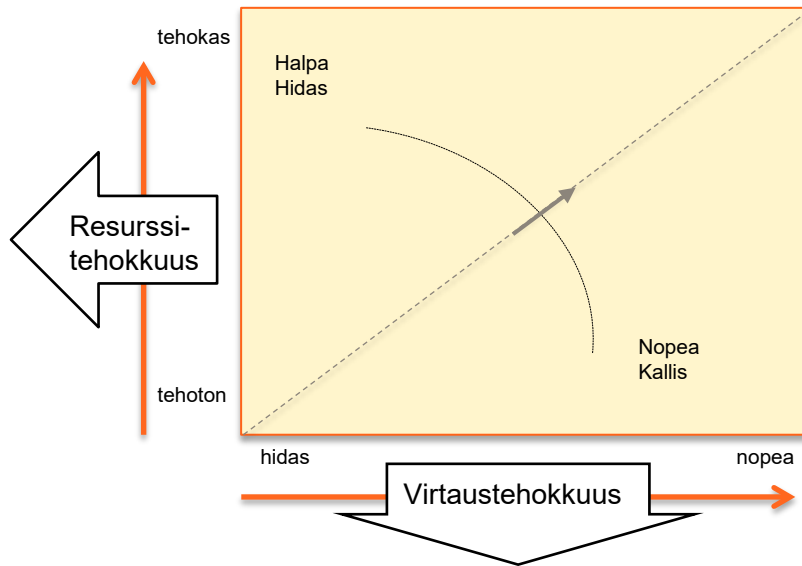
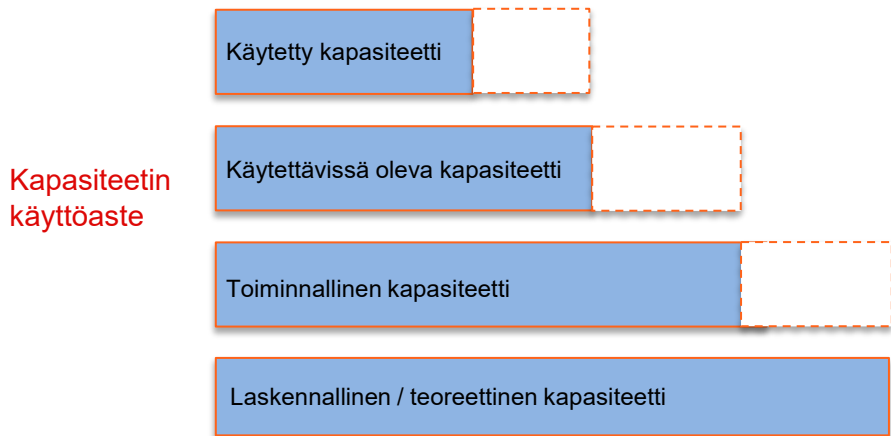


# Operaatioiden tehokkuustekijät

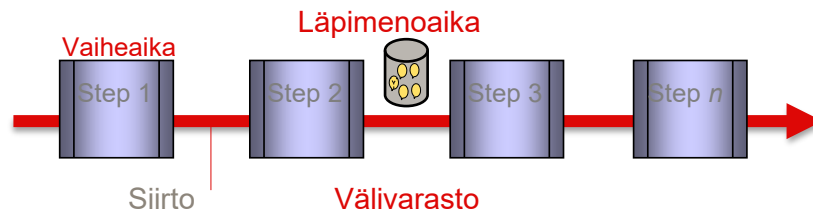
1. **Laatu:** tehdään kerralla ja virheittä oikein, tarkoituksenmukaista ja asiakkaan oletusten mukaista jälkeä
2. **Aika:** Tehdään/toteutetaan ja toimitetaan nopeasti asiakkaan pyynnöstä tuote tai palvelu
3. **Käyttövarmuus:** palvelu tai tuote toimitetaan luvatusi ajallaan ja se toimii oletetusti
4. **Joustavuus:** Kyky vastata nopeasti ja tarkoituksenmukaisesti asiakastarpeen tai ympäristön aiheuttamiin muutoksiin
5. **Kustannus:** toteutetaan tuote tai palvelu mahdollisimman edullisesti

# Resurssi- ja virtaustehokkuus

## Tuotantokapasiteetin johtaminen



## Prosessin johtaminen

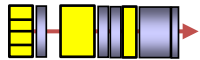
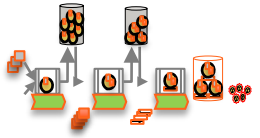




# Tuotannon prosessit

| Mitä se on?<br><i>Ontologia</i> | Mitä siitä voi tietää?<br><i>Epistemologia</i> | Miten se toimii?<br><i>Dynamiikka</i> | Mitä voi tehdä?<br><i>Teknologia</i> |
|---------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Käsitteellinen malli            | Mittarit                                       | Dynaaminen malli                      | Toimenpiteet                         |

Prosessin määrittelmä

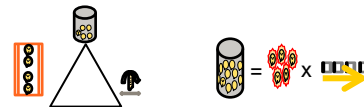


Prosessien tyypit

Prosessin tunnusluvut

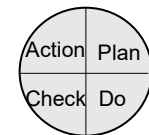


Prosessien dynamiikkoja



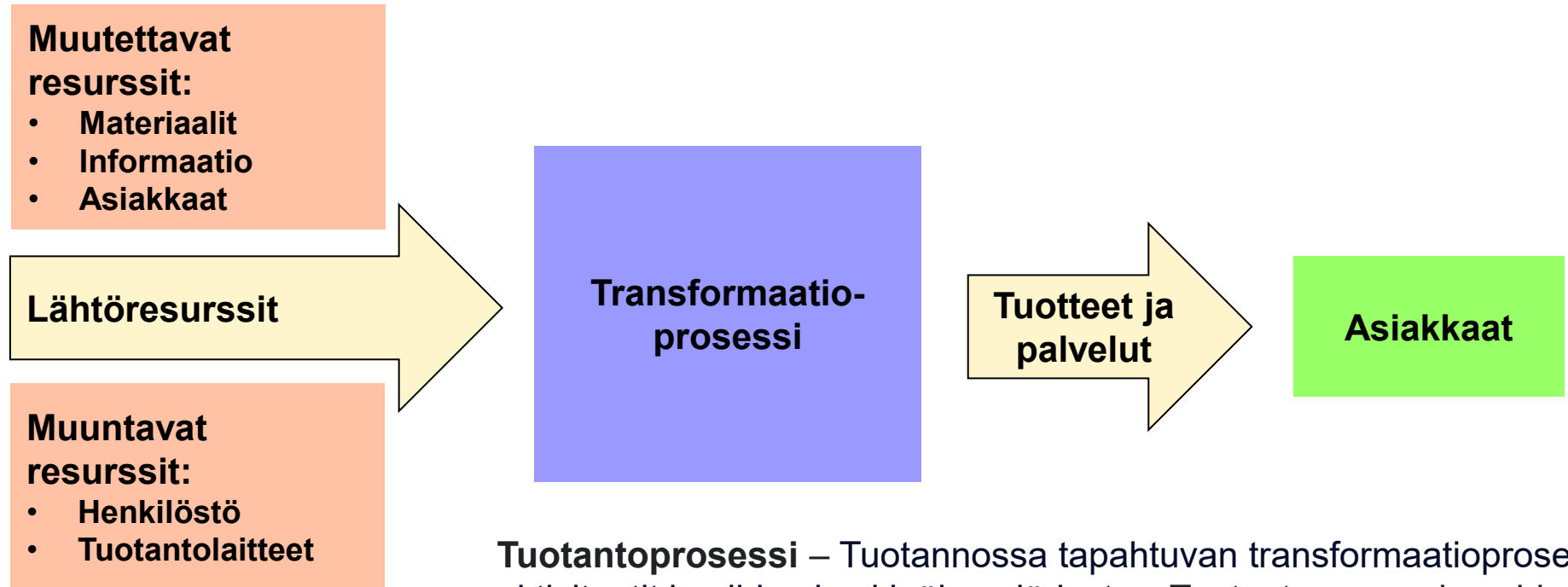
Prosessien suunnittelu, ohjaus ja kehittäminen

Laadun varmistus ja kehittäminen (QA&I)



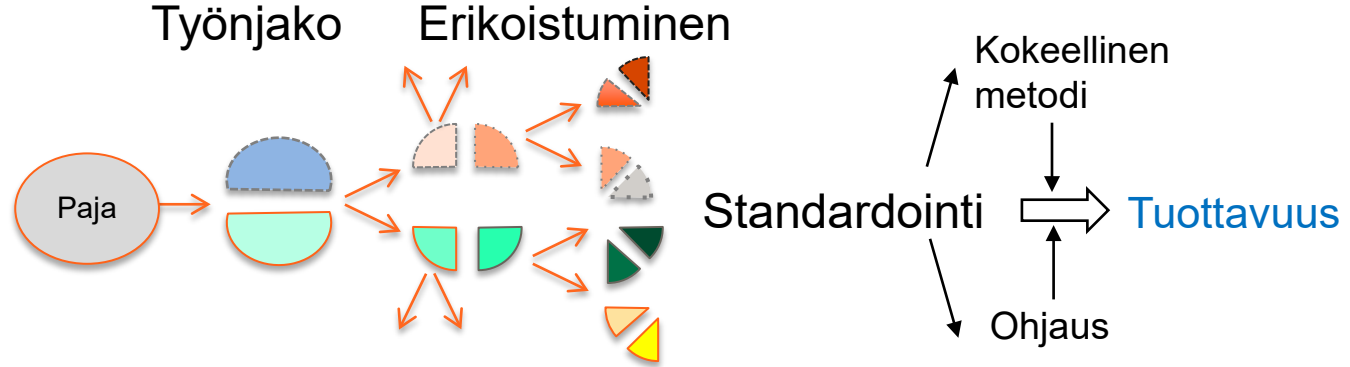
# Tuotantojärjestelmä ja tuotantoprosessi

**Tuotantojärjestelmä:** tapa jolla tuotannontekijöitä käytetään ja yhdistetään muutoksen toteuttamiseksi ja niiden muuttamiseksi tavaroiksi ja palveluiksi



**Tuotantoprosessi** – Tuotannossa tapahtuvan transformaatioprosessin aktiviteetit ja niiden keskinäinen järjestys. Tuotantoprosessia voidaan tarkastella tuotantoresurssien integraationa, eli mitä resursseja (input), ja missä järjestyksessä, kukin tuotos (output) tarvitsee.

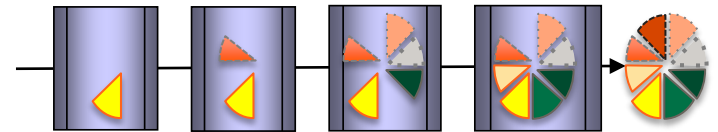
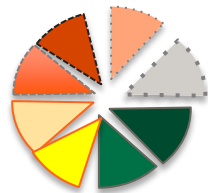
# Prosessi on seurausta erikoistumisesta



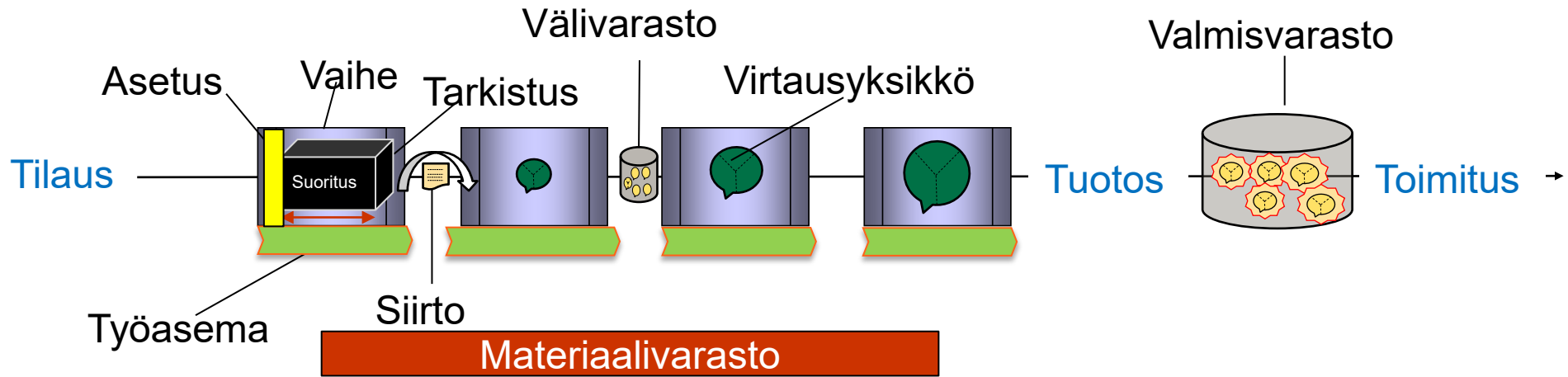
Pirstaloituminen

Monista osista koostuvan tuotteen/palvelun **integraatio**: tuotesuunnittelu, muotoilu

Monista vaiheista koostuvan prosessin **koordinaatio**: ohjaus, aikataulutus, resurssit, vaihtelun hallinta



# Tuotantofunktio organisoidaan tuotantoprosesseiksi

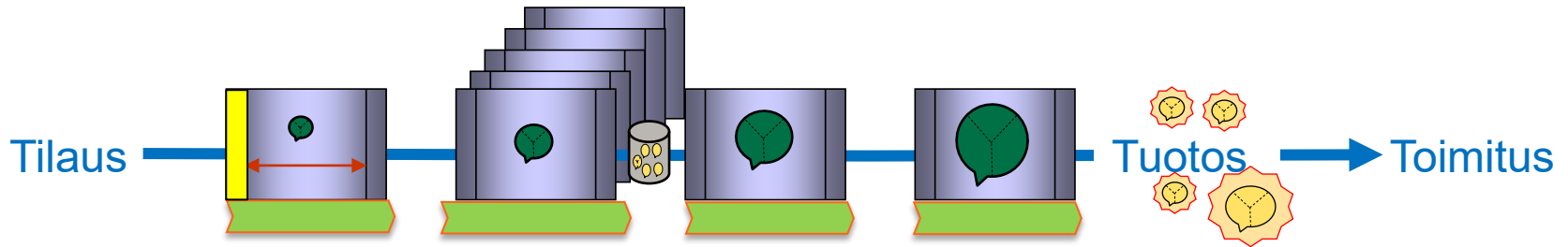


- Tuotantofunktioiden toistuva aika/paikka koordinaatio tavoitteen (tuotos) aikaansaamiseksi
- Suoritus (*processing*) muuttaa virtausyksikön tilaa (transformaatio) soveltamalla teknologiaa
- Erikoistuneita resursseja työasemilla (*workstation*)
- Toistuu samanlaisena tai samankaltaisena → sama prosessi, sama tulos
- Prosessin ohjaus vaihtelun vähentämiseksi - ohjattavuus.

# Prosessi on sekä toisto että tilaus-toimitusketju

Tuotantovaiheen  
samanlainen toisto  
*Resurssitehokkuus*

**Vaihtelu**  
Laatu  
**Standardointi**  
Kapasiteetti



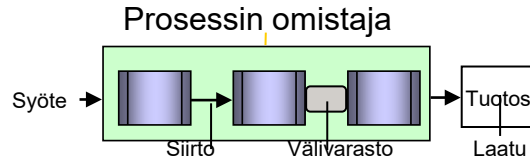
*Virtaustehokkuus*

Läpimenoaika  
Välivarasto  
Virtaus / layout  
Siirrot

Virtausyksikön matka  
tilauksesta toimitukseen  
asiakkaalle:  
Tilaus-toimitusketju

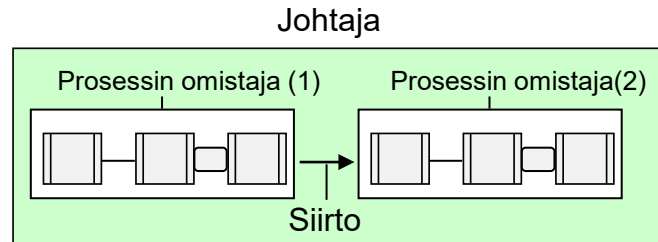
# Tuotantojärjestelmät rakentuvat prosesseista

**Prosessi**



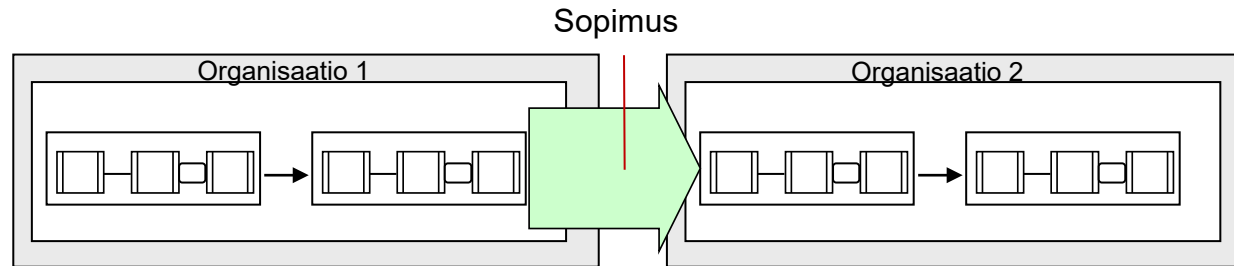
Suora johtaminen

**Moni-funktionaalinen prosessi**



Johtaminen hallinnollisen vallan avulla

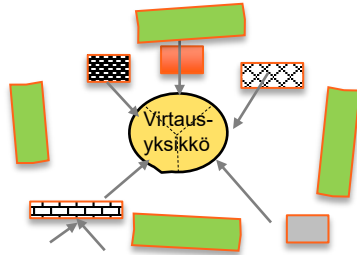
**Tuotantojärjestelmä, Tilaus-toimitus -ketju**



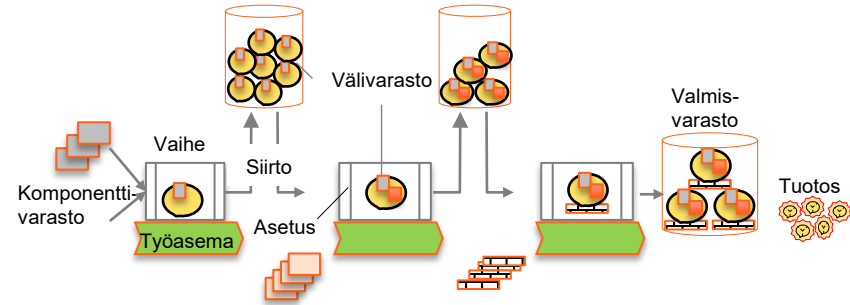
Johtaminen sopimuksilla

# Prosessityypit virtausyksikön liikkumisen mukaan

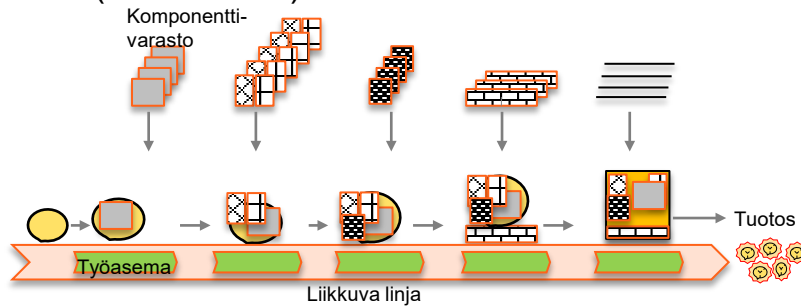
PAJA  
(job shop, jumbled flow)



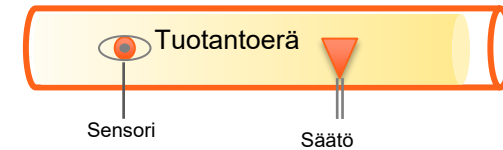
ERÄTUOTANTO  
(disconnected flow)



LIUKUHIHNA  
(connected flow)

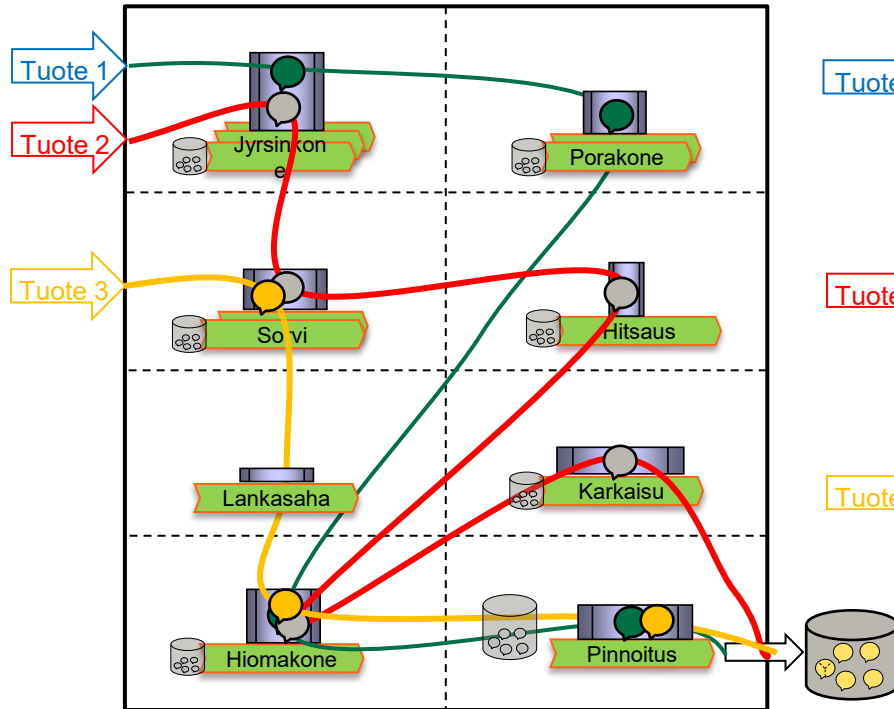


JATKUVA VIRTAUS  
(continuous flow)

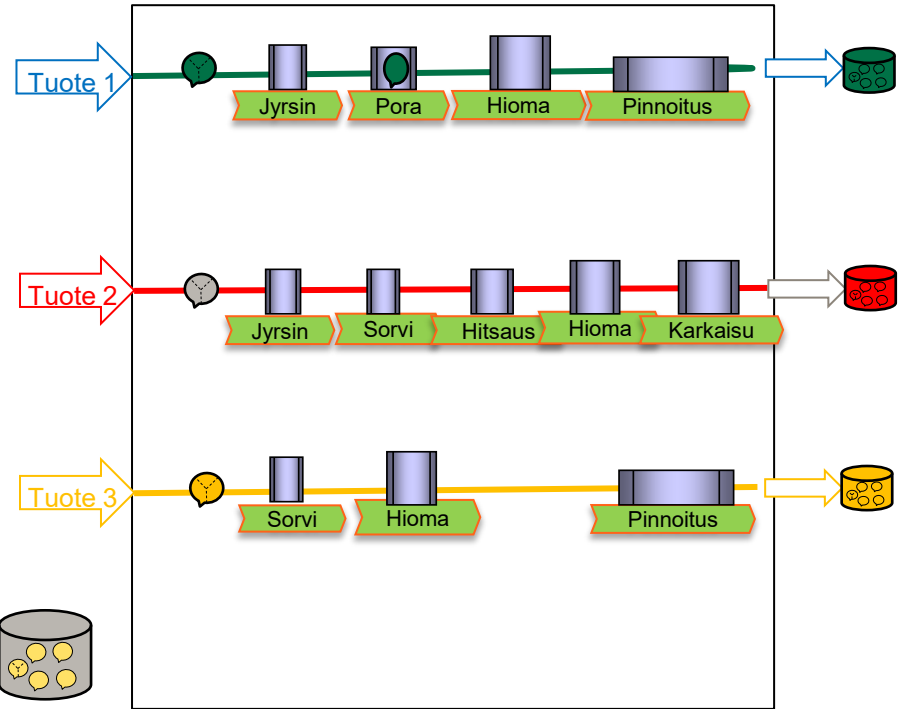


# Tuotannon layout

## Funktionaalinen layout



## Prosessiperustainen layout



Erikoistuminen, kapasiteetin käyttöaste,  
resurssitehokkuus

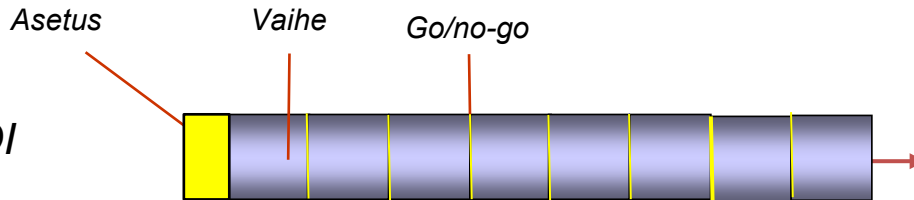
Läpimenoaika, varaston  
kiertonopeus, virtaustehokkuus



# Prosessityypit: asetuksen ja suorituksen suhde

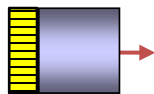
Suunniteltavuus  
Ohjattavuus

**STANDARDI  
PROSESSI**



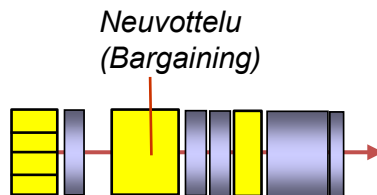
Yhtä asetusta seuraa joukko identisiä toistoja

**FORMATOITU  
PROSESSI**



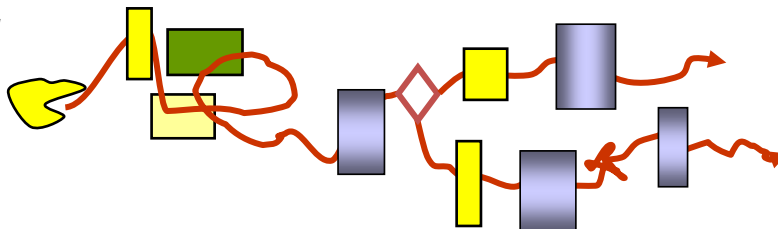
Yksilökohtainen asetusta suoritetaan standardimuuttujilla.

**RUTIINI  
PROSESSI**










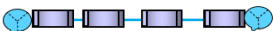


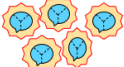
Yksilökohtainen asetusta, monia muuttujia, neuvottelu

**EXPLORATIIVINEN  
KEHKEYTYVÄ  
PROSESSI**



Epäselvä tilanne, prosessia ei voi suunnitella ennakolta alusta loppuun, kokeilua, oppimista

# Tuotantoprosessin elementit

| ELEMENTTI                                                                                                                                | MITÄ SE ON                                                                                                        | MITÄ VOIDAAN TIETÄÄ / MITTARIT                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| SUORITUS<br>( <i>task, processing</i> )<br>             | Transformaatio, tilamuutos, prosessointi<br>Tuotantofunktion perustuva suorittava työ,<br>ammattillinen osaaminen | Tilan muutos<br>Kesto, Resurssikulutus (vaihtuvat kulut)<br>Laatu (virheettömyys) |
| VIRTAUSYKSIKKÖ<br>( <i>flow unit</i> )<br>              | Transformaation kohde (tavara, henkilö,<br>omaisuus, tapaus, tieto)                                               | Tila suhteessa tavoitteeseen jollakin ajan hetkellä<br><i>Läpimenoaika</i>        |
| TYÖASEMA<br>( <i>work station</i> )<br>                 | Paikka / resurssikeskittymä, jossa tilamuutos<br>suoritetaan (pysyvä, liikkuva)                                   | Kapasiteetti<br>Kiinteät kulut, sitoutunut pääoma                                 |
| ASETUS<br>( <i>setup</i> )<br>                          | Työaseman ja/tai virtausyksikön valmistelu<br>transformaatiota varten                                             | Kesto, kustannus, riski, määrämuotoisuus<br>Asetuksen jälkeinen toistomäärä       |
| VAIHE<br>( <i>step</i> )<br>                            | Suoritus, joka kytkeytyy muihin suorituksiin,<br>Prosessin osa, in / out –liittymät muihin<br>vaiheisiin          | <i>Asetus-suoritus</i><br>Vaiheaika (takt time)                                   |
| SIIRTO<br>( <i>handover</i> )<br>                       | Virtausyksikön siirtymä vaiheesta toiseen                                                                         | Tapa, kesto<br>Siirron mukana tuleva informaatio (koordinaatio)                   |
| REITTI / VIRTAUS<br>( <i>flow</i> )<br>                 | Virtausyksikön reitti vaiheesta toiseen<br>Layout<br>Suunniteltu tai eksploraatiivinen                            | Alku, loppu, kesto<br>Vaihtoehtoiset reitit                                       |
| LÄPIMENO<br>( <i>cycle</i> )<br>                        | Virtausyksikön eteneminen prosessissa                                                                             | Aika                                                                              |
| VÄLIVARASTO<br>( <i>work-in-process inventory</i> )<br> | Keskeneräiset virtausyksiköt, sisäinen jono<br>Puskurivarasto                                                     | Kappalemäärä, volyyymi, sitoutunut pääoma, odotusaika<br>Varaston kiertonopeus    |
| ERÄ<br>( <i>batch</i> )<br>                           | Joukko yhdessä liikkuvia virtausyksiköitä                                                                         | Eräkoko<br>Erän läpimenoaika                                                      |
| TUOTOS<br>( <i>throughput</i> )<br>                   | Laatuvakioitu valmis virtausyksikkö                                                                               | Tuotantomäärä per aikayksikkö<br>Prosessin kapasiteetti                           |

# Ihminen virtausyksikkönä

## Henkilön omaisuus tai ominaisuus

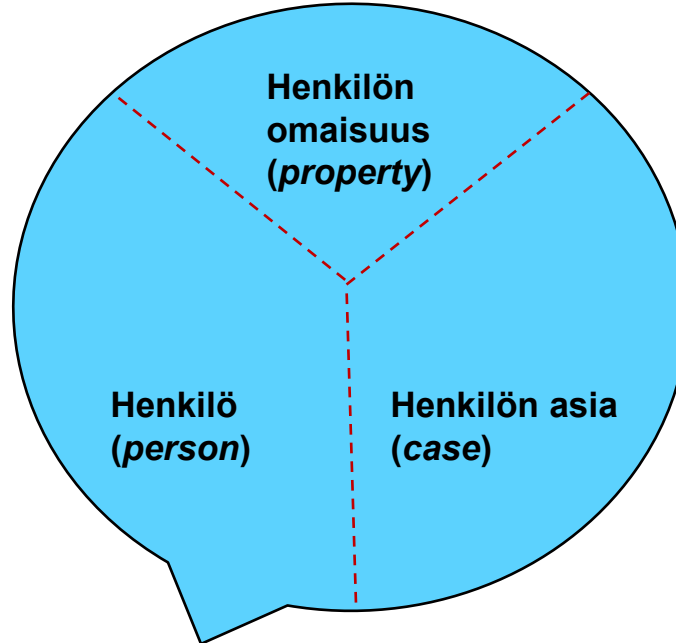
Taudin hoito

**Henkilö  
asiakkaana**

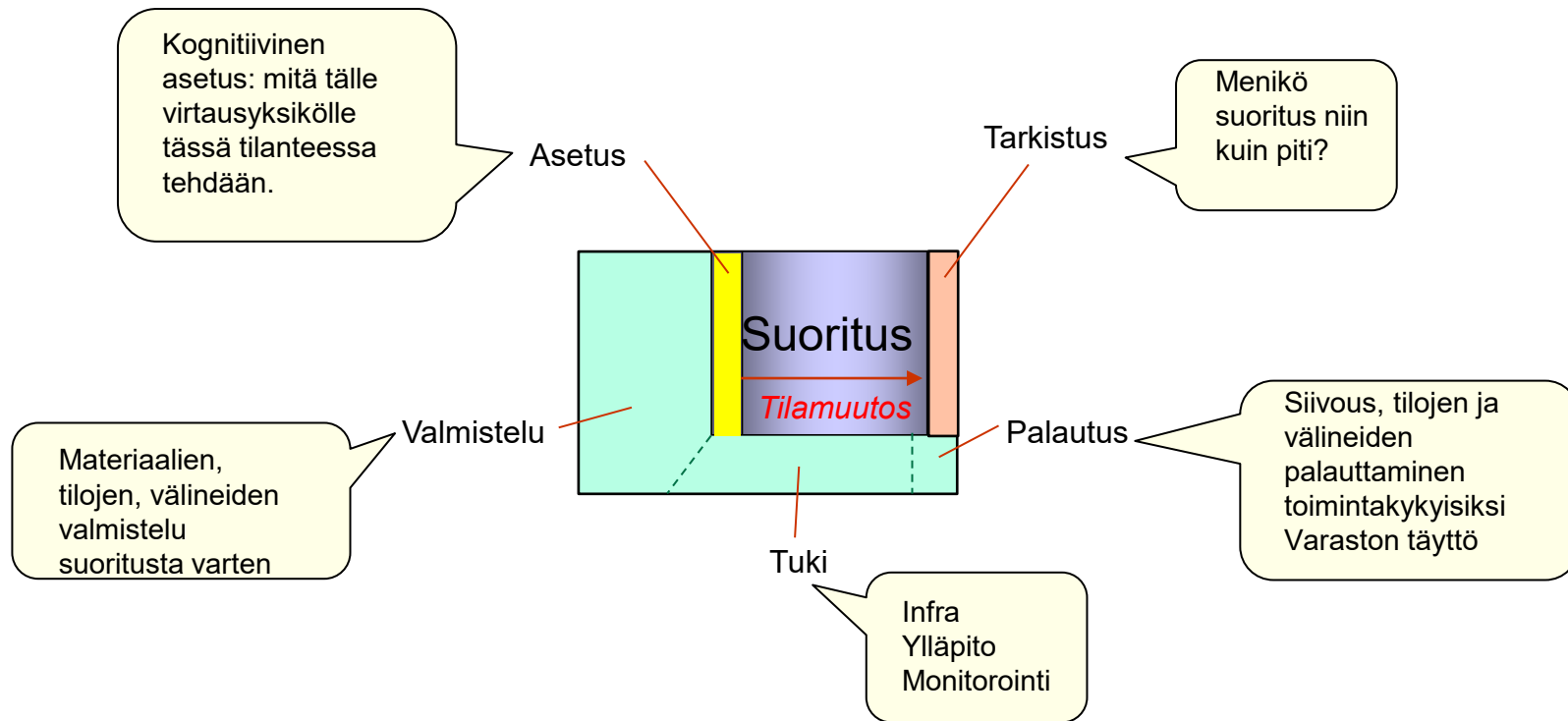
Parturi-kampaamo

**Henkilön asia**

Auton vakuutus

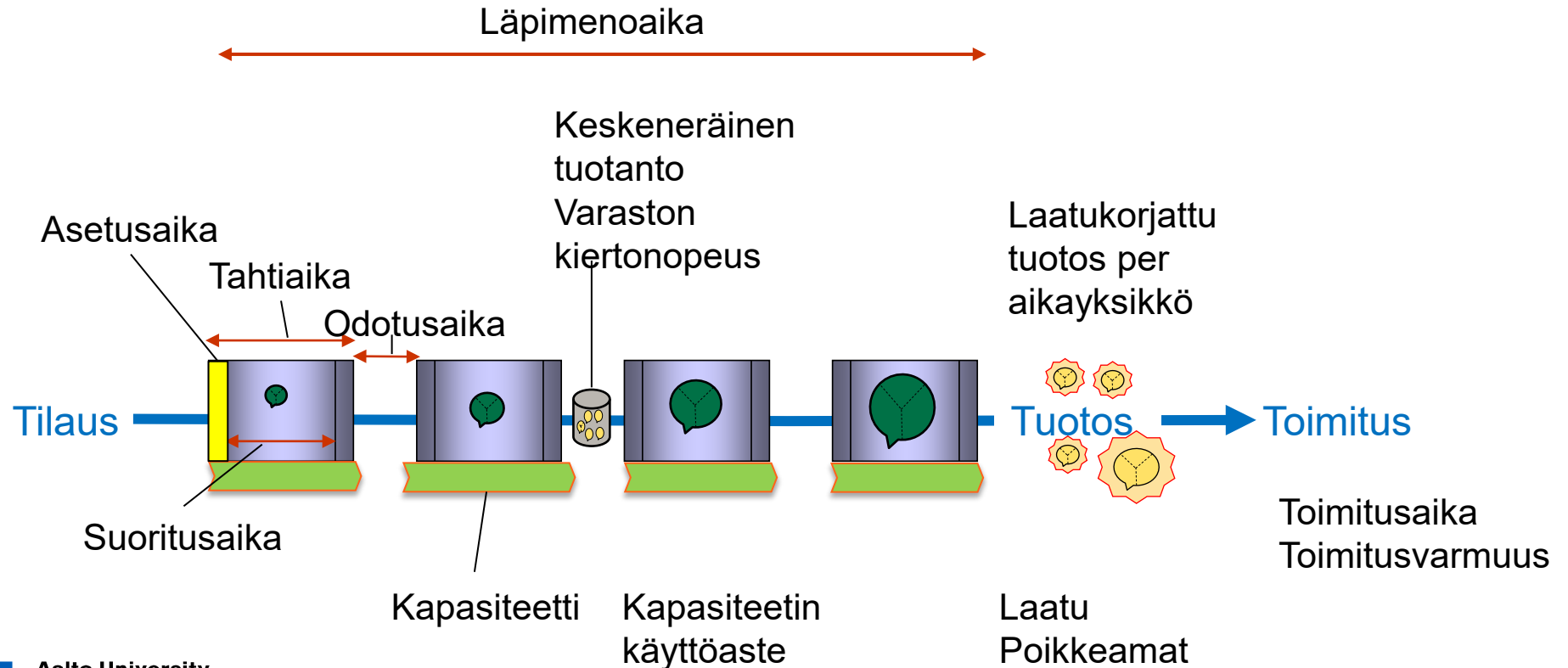


# Tuotantovaiheen anatomia

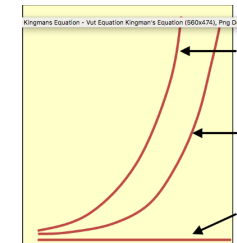
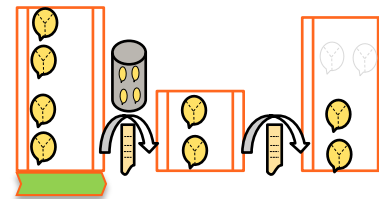
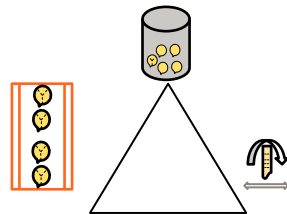
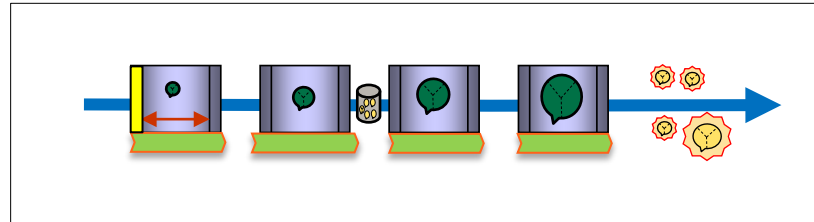
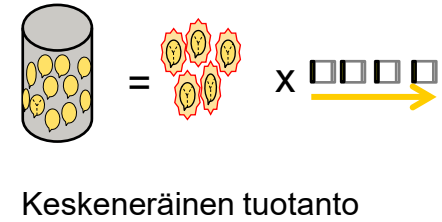
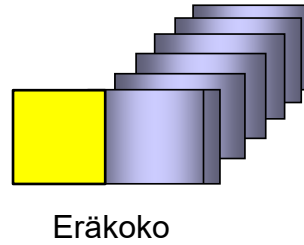
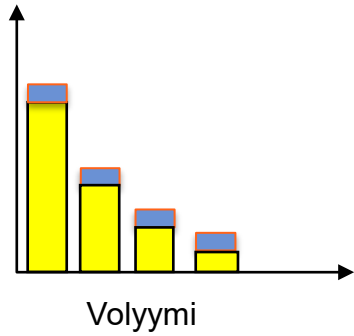


- Suoritus aikaansaa tai mahdollistaa tilamuutoksen (tuotantofunktio).
- Suorituksen kehittäminen edellyttää investointeja materiaalliseen ja/tai henkiseen pääomaan.
- Valmistelun, asetuksen, tarkistuksen ja palautuksen kehittäminen on johtamista ja järjestämistä.

# Prosessin tunnusluvut ja mittarit



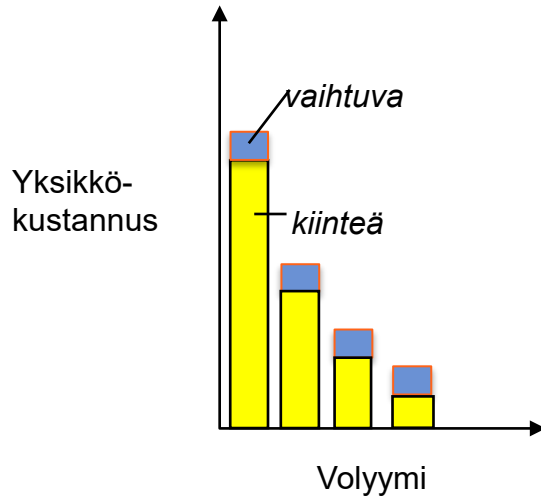
# Prosessin dynamiikkoja



Vaihtelu

# Volyymi ja yksikkökustannus

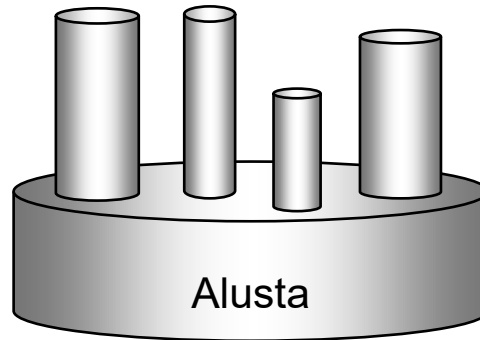
## VOLYYMI



## Suurtuotantoetu (Economies of scale)

- sama asetus – monta toistoa
- kiinteät ja vaihtuvat kustannukset

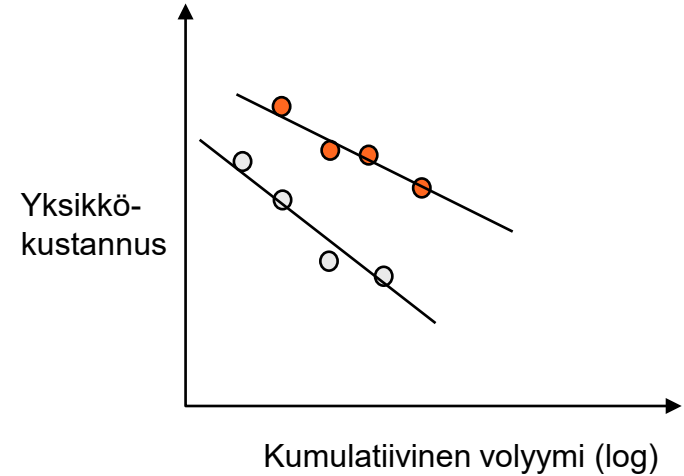
## SYNERGIA



## Tuotevariointietu (Economies of scope)

- eri tuotteet käyttävät samaa alustaa

## OPPIMINEN

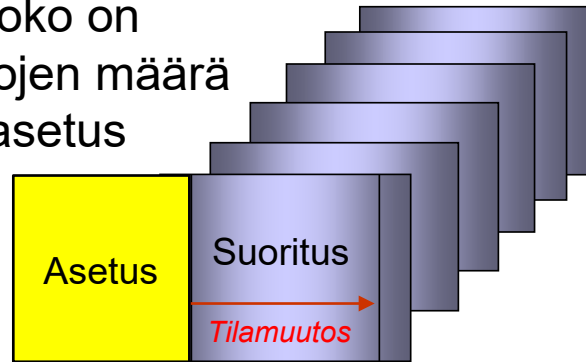


## Kokemuskäyrä Oppimiskäyrä

- yksikkökustannus laskee kumulatiivisen volyymin funktiona
- henkilökohtainen oppimisefekti

# Tuotantoerän optimaalinen koko määräytyy asetuksen, kuljetuksen ja varastoinnin kustannuksista

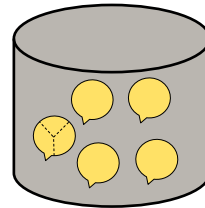
Tuotannon eräkkö on toistojen määrä per aset



Asetuskustannus

- Aika
- Työvoima, tarvikkeet
- Päätöksenteon riskit

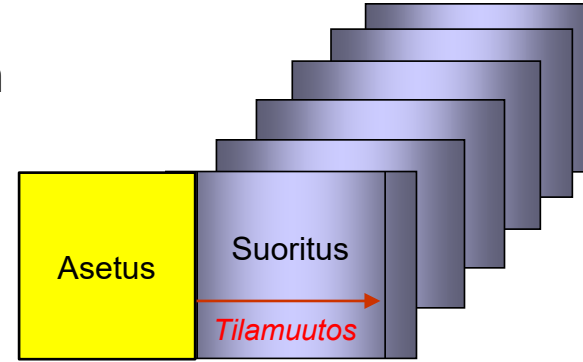
Kuljetusten eräkkö



Välivarasto

Keskeneräinen tuotanto (KET)

- Varastointikustannus
- Sitoutuneen pääoman kustannus
- Pilaantumisriski

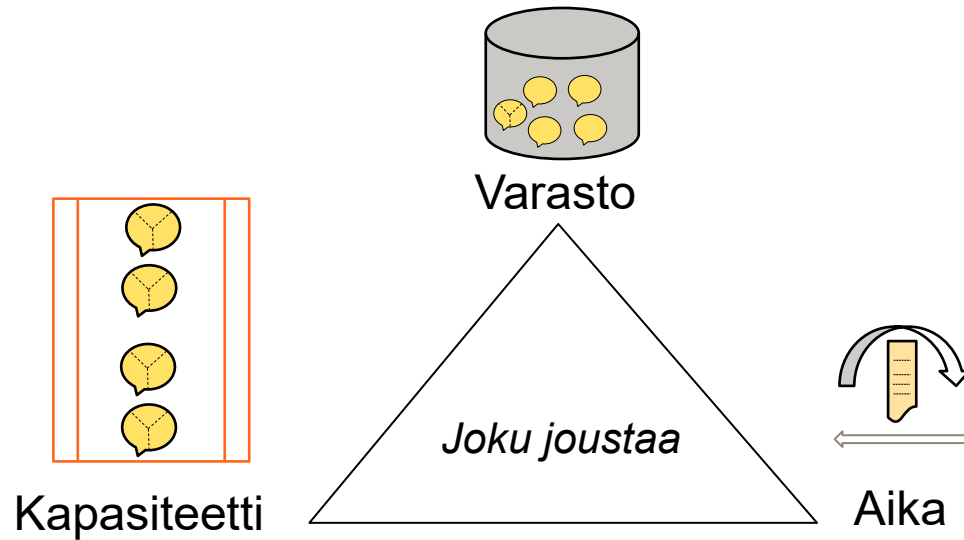
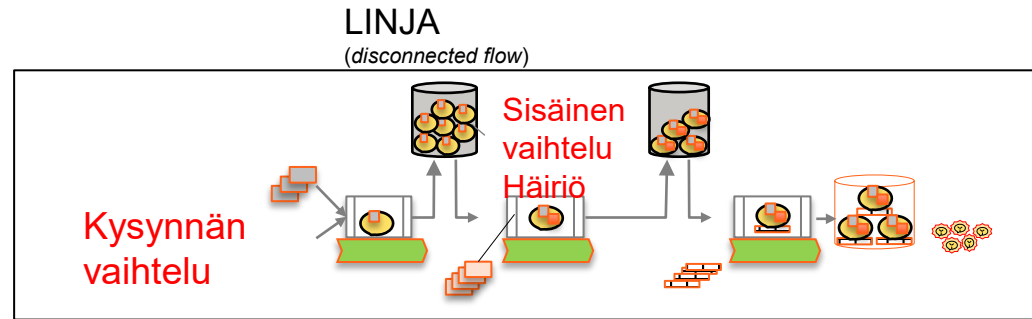


Kun eräkkö kasvaa

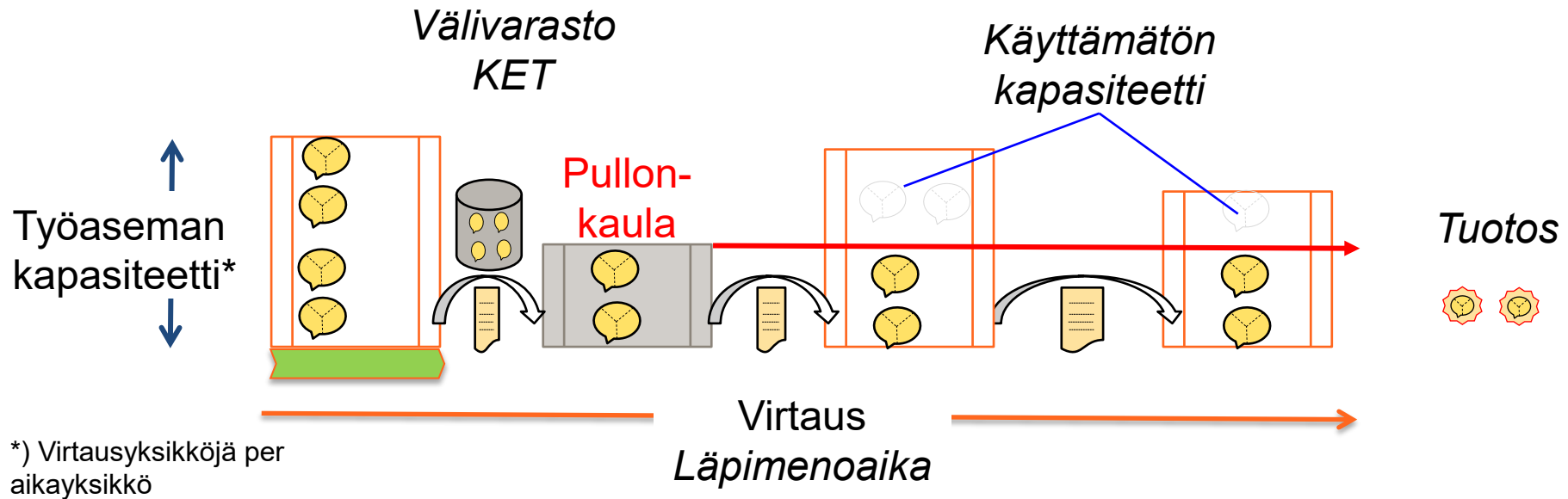
- + kapasiteetin käyttöaste kasvaa
- KET kasvaa
- läpimenoaika kasvaa



# Varasto voi toimia puskurina

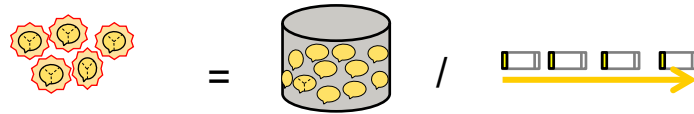
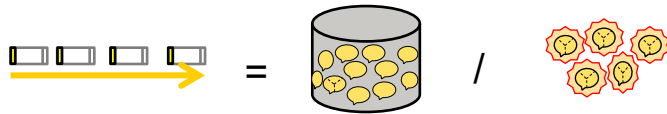


# Pullonkaula määrää koko prosessin tuotoksen



Ketju on yhtä vahva kuin sen heikoin lenkki.

# Littlen laki

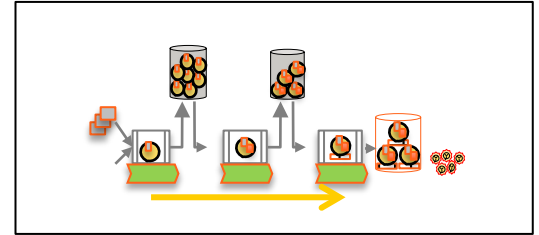


$$\text{5 gears} \times 10 = 10/1$$

$$\text{5 gears} \times 20 = 20/2$$

Sama tuotos voidaan tehdä

- nopeasti ja pienellä välivarastolla
- hitaasti ja suurella välivarastolla



Soveltuu vakaisiin  
jonojärjestelmiin.

# Odotusaika ja käyttöaste

$$WT = VUT$$

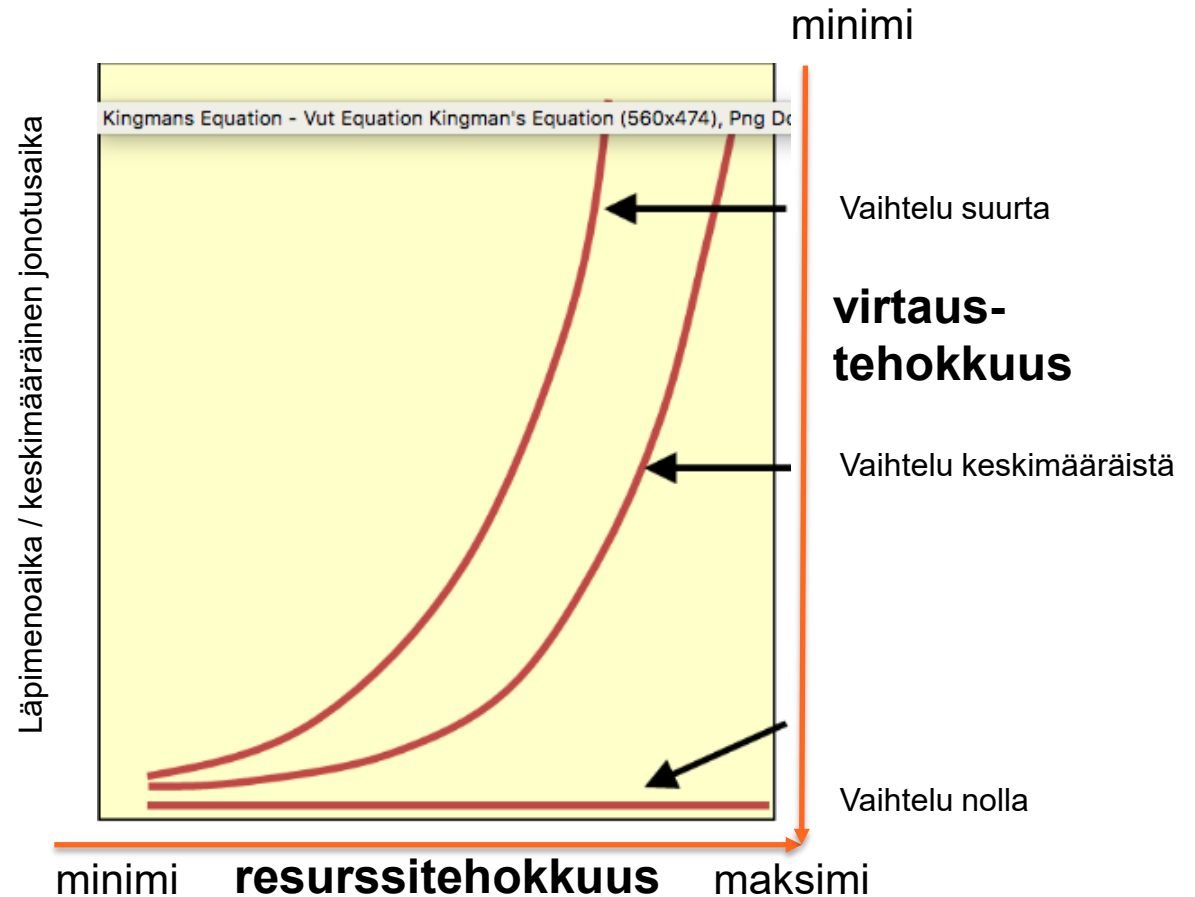
WT= odotusaika

V = vaihtelu (tilaus/saapuminen ja suoritus))

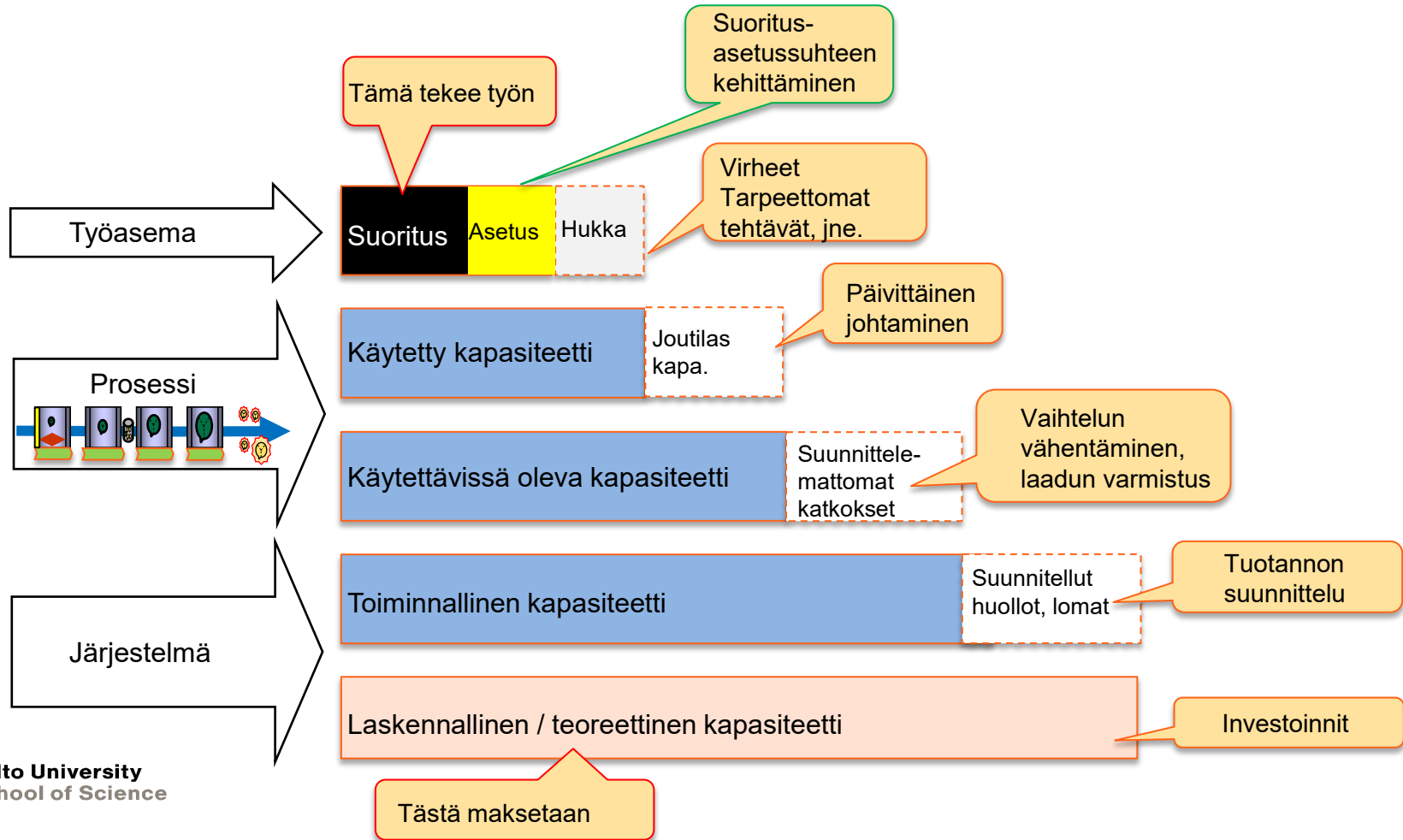
U = käyttöaste

T = keskimääräinen virtausyksikön vaihe aika

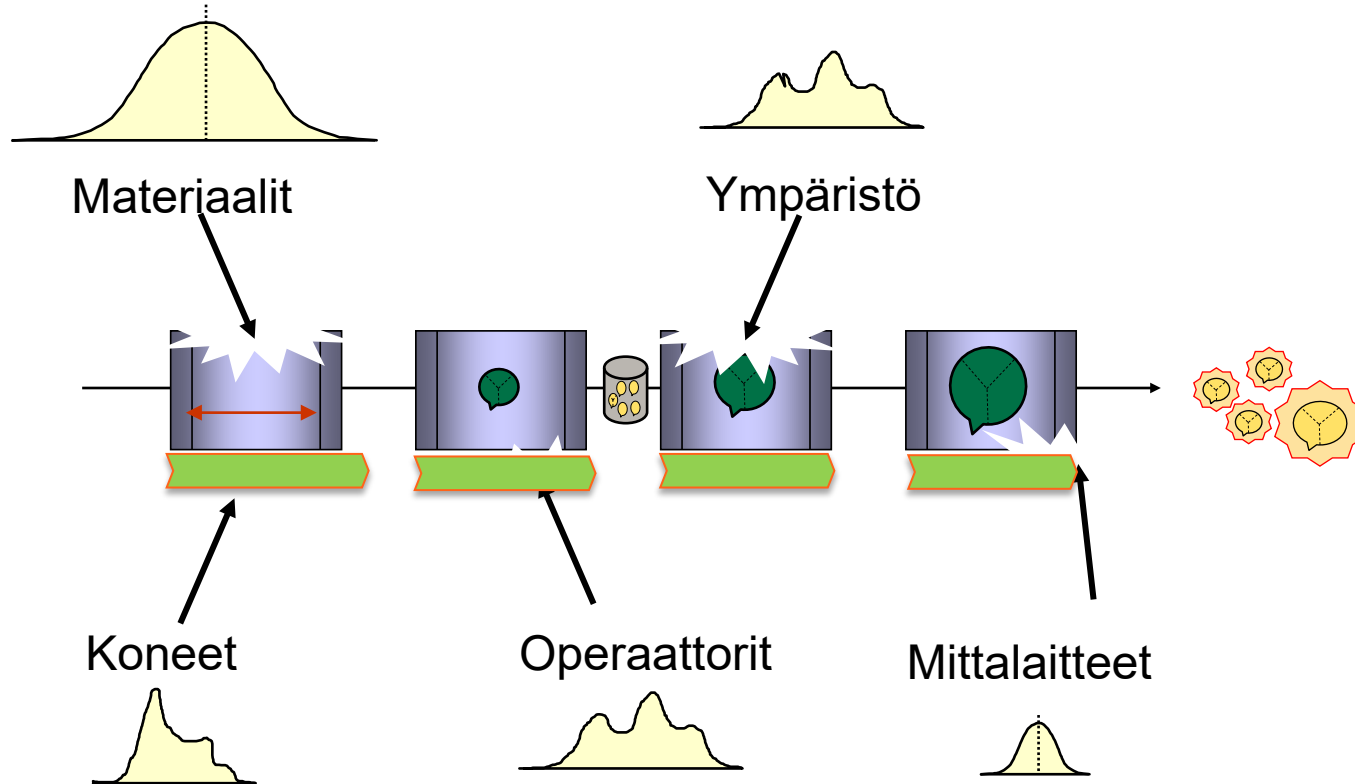
Vaihtelu on erityisen vahingollista kun kapasiteetin käyttöaste on korkea.



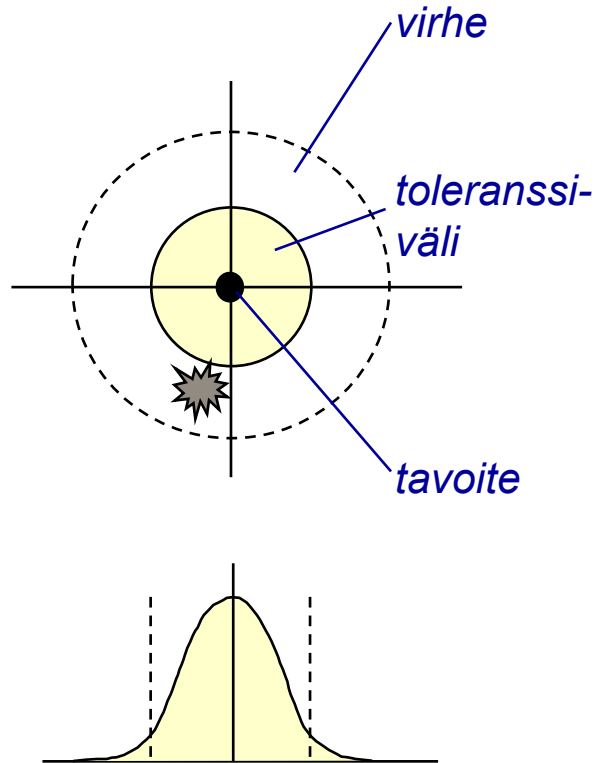
# Kapasiteetin käyttöasteen ohjaus



# Vaihtelu häiritsee prosessi



# Virhevaihtelun syyt



## Erityissyyt (*specific causes*)

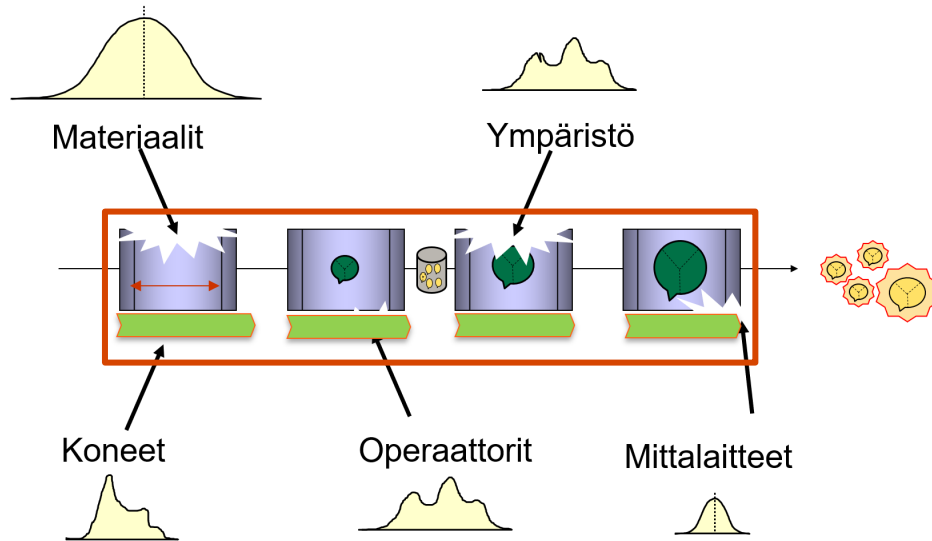
- tuotantojärjestelmän ulkoinen häiriötekijä
- kontrolloimattomia tekijöitä
- aika-paikka –spesifi (kysy 'milloin', 'miksi'?)
- voidaan löytää tarkastelemalla aikasarjaa.

## Yleiset syyt (*common causes*)

- tuotantojärjestelmän sisäiset syyt,
- laaduntuottokyky normaalitilassa
- noudattaa yleensä satunnaisjakaumaa
- johtuu järjestelmän rakenteesta.

Erityiset ja yleiset virhetapahtumat näyttävät usein samanlaisilta. Ne voidaan tunnistaa ohjaukorteilla (*control charts*), tilastollisen prosessiohjauksen (*Statistical Process Control*) keskeinen työkalu.

# Vaihtelu häiritsee prosessi - prosessin sulkeminen ulkoisilta häiriöiltä ja sisäisiltä virhelähteiltä



Laatujärjestelmä  
Tilausten käsittely  
Standardointi

Tulotarkastus

Desinfektointi  
Kulunvalvonta  
Filtteröinti  
Eristys

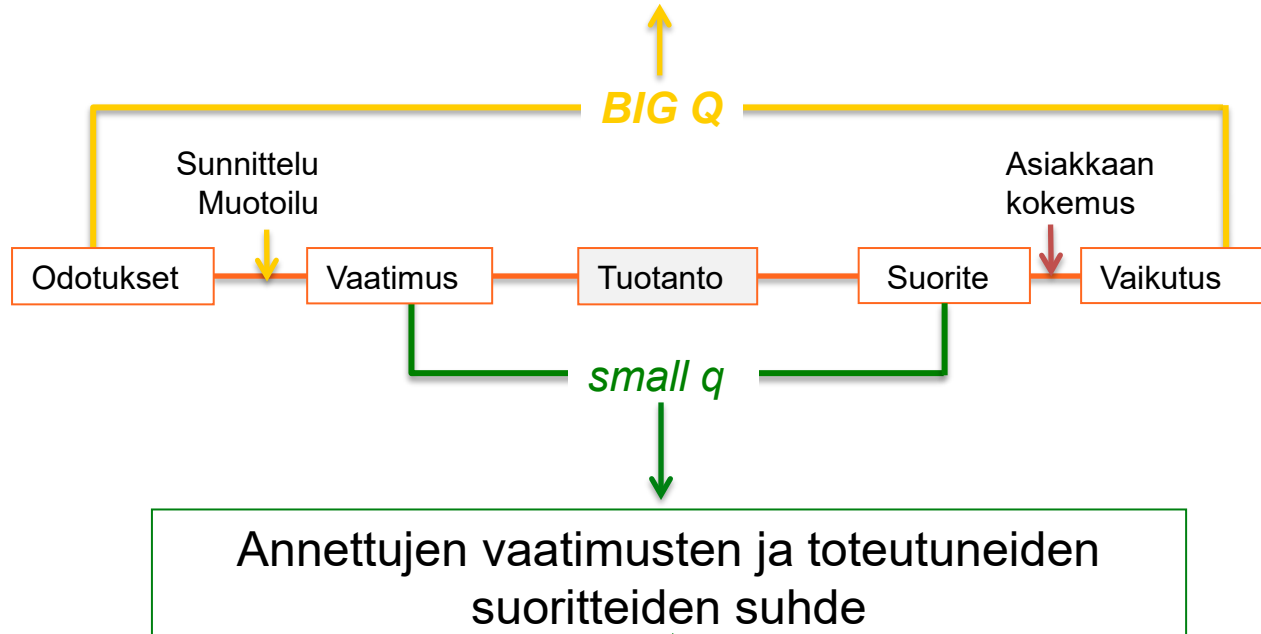
Ennakoiva huolto  
Koulutus  
Säätö  
Kalibrointi

Lopputarkastus



# Laatu on vaihtelun vähentämistä

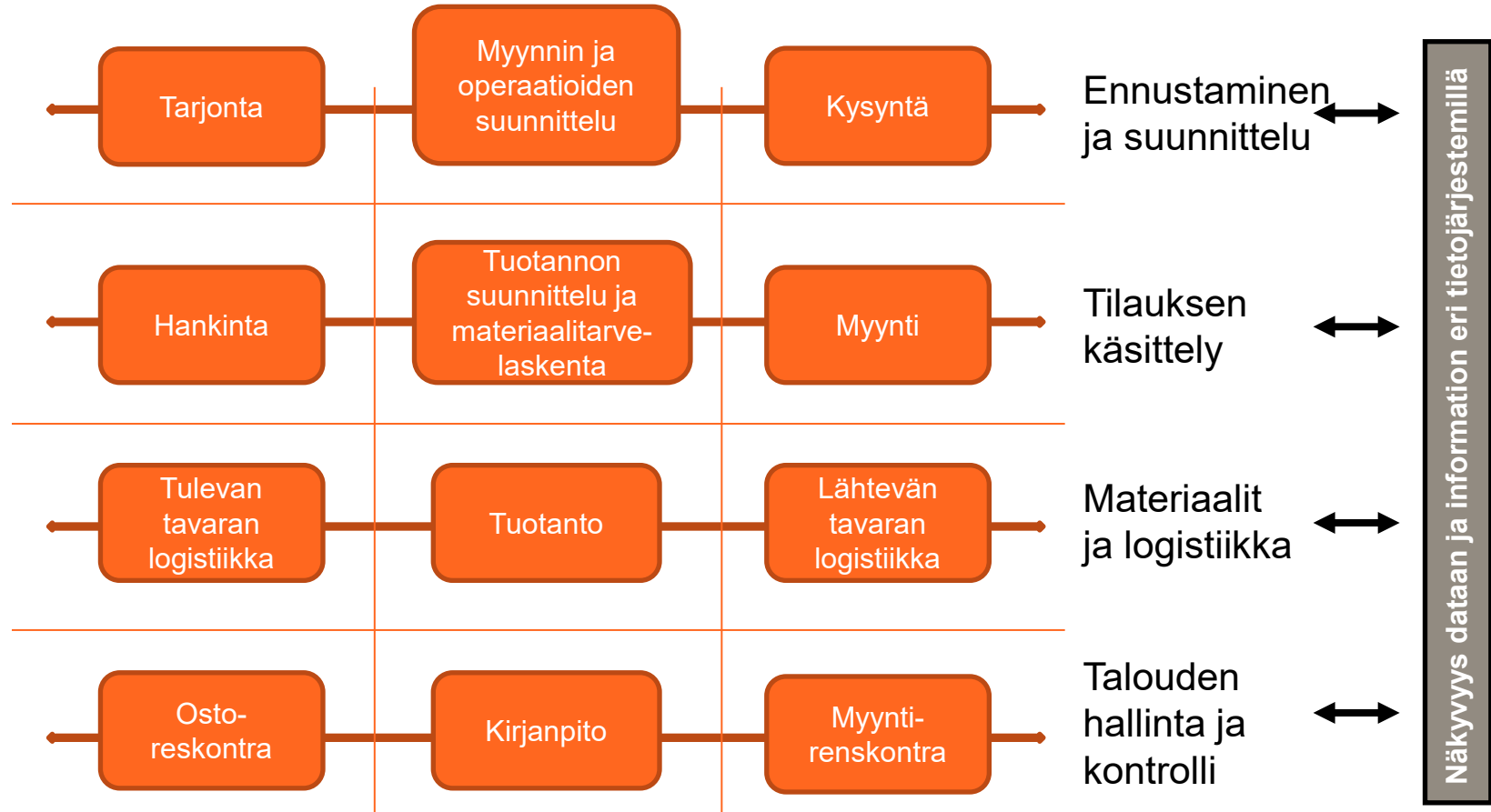
Asiakkaan odotusten ja koettujen vaikutusten suhde



Prosessin sisäisen vaihtelun vähentäminen  
+ *tuottavuus, ohjattavuus*

Virheetön / luvaton mukainen suorite asiakkaalle  
+ *liikevaihto, - laatu kustannukset*

# Tuotantojärjestelmän yhteys yrityksen toimintoihin ja tietojärjestelmiin



# Digitaaliset kaksoset ja tehdassimulointi

