

Miten tuotantojärjestelmä suunnitellaan?

Tuotantojärjestelmää suunnitellessa, ei riitä, että tiedämme mistä resursseista sen pitäisi koostua – meidän on myös ymmärrettävä mikä on resurssien välinen suhde tuotannon toteuttamassa transformaatioissa. Eli meidän on kyettävä kuvaamaan tuotantoprosessi. Yleiskielessä 'prosessi' tarkoittaa mitä tahansa jossakin järjestyksessä etenevää toimintaa – vastaavasti, **tuotantoprosessi** kuvaa missä järjestyksessä tuotannon transformaatio hyödyntää tuotannon resursseja, ja mitä resursseja yhdistelemällä saadaan haluttu lopputulos aikaiseksi. Tuotannossa eri vaiheet kytkeytyvät toisiinsa joko peräkkäin, jossa A:n on tapahduttava ennen B:tä, tai rinnakkain, jossa A ja B voidaan tehdä missä järjestyksessä tahansa, kuitenkin niin että molempien pitää olla tehtynä ennen C:tä. Kun järjestyksen ja keskinäisen riippuvuuden lisäksi tiedetään eri tuotannon vaiheiden kesto, voidaan laskea tuotannon teoreettinen läpimenoaika, ja tiedetään, mikä tuotannon resurssi on tuotantoprosessin pullonkaula. Eli voidaan siirtyä tarkastelemaan tuotannon virtausta.

Virtausyksikkö

Tuotannon transformaation kohdetta kutsutaan virtausyksiköksi, siis se yksikkö, jonka tilaa muutetaan sen siirtyessä, tai "virratessa" vaiheesta toiseen. Tavaratuotannossa virtausyksikkö voi olla fyysinen kappale, kuten koneen osa. Tällöin puhutaan kappaletavaraprosessista tai diskreetistä prosessista, jossa virtausyksikkö on erillinen entiteetti. Prosessiteollisuudessa taas virtausyksikkönä voidaan pitää tiettyä määrää molekyyalitasolle asti jaollista materiaalia kuten erä vierrettä panimon kattilassa. Palvelutuotannossa virtausyksikkö voi olla itse asiakas, henkilönä, hänen ollessa esimerkiksi hammaslääkärin potilas tai kampaajan asiakas. Tarkasteltava virtausyksikkö voi kuitenkin olla myös asiakkaan omaisuus, kuten auto korjaamolla, tai asiakkaan "tapaus", kuten korvaushakemus vakuutusyhtiön prosessissa. Joissakin tuotantojärjestelmissä (varsinkin niissä missä tuotanto jakautuu tausta- ja asiakasrajapintatoimintoihin) voi olla mielekästä tarkastella useita eri virtausyksiköjä, jotka yhdessä muodostavat asiakasarvon. Esimerkiksi lounasravintolassa tarjottavaa ruokaa on luonnollista tarkastella virtausyksikkönä, mutta yhtä luonnollista on tarkastella asiakasta, tai esimerkiksi tarjotinta jolle asiakas kokoaa ruokansa.

Työaseman asetus

Tuotantoprosessin suunnitteluun tarvitsemme vielä pari käsitettä. Tuotantotapahtumaa suorittavaa resurssia kutsutaan työasemaksi. Työasema voi olla kiinteä, kuten sorvi konepajassa, tai liikkuva, kuten putkimies ja hänen pakkinsa. Ennen kuin työasema voi suorittaa tuotantotapahtuman (eli sorvata metallinpalan tai paikata vuotava putki), on työasemalle/työaseman tehtävä (entuudestaan tuttu) asetus. Asetuksessa työasema (ja mahdollisesti itse tuotos) valmistellaan tuotokselle tarvittavaan tuotantotapahtumaan. Osana asetusta joudutaan joissakin tuotantojärjestelmissä selvittämään mitä työaseman pitäisi tehdä kyseiselle tuotokselle. Jos tuotantojärjestelmässä ei ole vaihtelua, tämä osa asetusta on hyvinkin triviaali, koska kaikille tuotoksille tehdään työasemalla sama transformaatio. Kuitenkin, esimerkiksi putkimiehen tapauksessa, suuri osa asetusta (mahdollisesti jopa suuri osa koko tuotantotapahtumaa) saattaa olla juurikin tätä selvittämistä, jos esimerkiksi vuodon paikantaminen on vaikeaa. Kun on selvää mitä pitäisi tehdä, voidaan tuotantoresurssiin tehdä tarvittavat säädöt ja asetukset, jotta tämä voisi suorittaa juuri oikean (nyt tiedossa olevan) transformaation tuotokselle. Eli sorviin asennetaan oikea terä, koneen asetuksia säädetään ja työstettävä kappale kiinnitetään sorviin. Vastaavasti putkimies sulkee virtauksen korjattavassa putkessa, valmistelee korjauspaikan ja mahdollisesti hakee tarvittavat erikoistyökalut. Tuotantoon liittyy myös valmistelua/ylläpitoa, joka ei varsinaisesti liity mihinkään tiettyyn tuotokseen, mutta joka kuitenkin saattaa (varsinkin laiminlyötynä)

vaikuttaa tuotekohtaiseen asetukseen ja suoritukseen. Tällaiset asiat ovat esimerkiksi yleinen siisteys, työkalujen puhdistus ja niiden järjestys sekä tuotantolaitteiden voitelu. Jos asetus on kallis ja työläs, on houkuttelevaa kasvattaa toistojen määrää, jotta asetuksesta koituvat kustannukset voidaan jakaa suuremmalle tuotasmäärälle, tämä tosin tarkoittaa myös tuotoksen standardointia.

Odottaminen tuotannossa

Se mitä työasemien välillä tapahtuu, on luonnollisesti myös tärkeä osa tuotantoprosessia. Kun työasema on suorittanut prosessin vaiheen, virtausyksikkö voi siirtyä seuraavalle työasemalle. Vaikka liukuhihnalla virtausyksikkö siirtyykin heti seuraavalle työasemalle, monissa tuotantojärjestelmissä siirto ei kuitenkaan tapahdu heti, vaan on mielekkäämpää odottaa, esim. että työasema tuottaa tietyn määrän näitä tuotoksia (esim. laatikollisen), ennen kuin ne siirretään. Vastaavasti, odotus voi myös johtua siitä, että seuraava työasema ei ole valmis ottamaan vastaan tuotoksia, koska se työstää paraikaa jotakin toisen tyyppistä tuotosta. Aina kun virtausyksikkö odottaa seuraavaa tuotantovaihetta puhutaan keskeneräisestä tuotannosta. Jos virtausyksikkö odottaa laatikon täyttymistä, odotusaika lasketaan ehkä minuuteissa. Vastaavasti, virtausyksikkö voi joutua odottamaan kuukausia välivarastossa, ennen kuin seuraavaa tuotantovaihetta on valmis vastaanottamaan sen. Keskeneräinen tuotanto sitoo pääomaa, mikä on huono asia. Toisaalta, keskeneräinen tuotanto (välivarastossa) toimii myös tuotantojärjestelmän puskurina, jonka avulla tuotantoresurssien käyttöastetta voidaan joissain tapauksissa parantaa (varsinkin pullokaulaa edeltävällä välivarastolla) – mikä puolestaan parantaa tuotantoon sidotun pääoman käyttöastetta. Hyvin harvassa tuotantojärjestelmässä (esim. prosessiteollisuudesta saattaa löytyä poikkeuksia) virtausyksikkö on koko ajan liikkeessä, eikä koskaan odottele seuraavaa tuotantovaihetta. Tämä tarkoittaa, että lähes kaikissa tuotantojärjestelmissä tuotannon todellinen läpimenoaika on pidempi kuin teoreettinen läpimenoaika. Ja läpimenoaika, ja sen lyhentäminen onkin hyvin monen tuotannon kehittämisfilosofian/-menetelmän keskiössä.

Virtausyksikön liike

Virtausyksikön ja tuotannon virtauksen perusteella voidaan tarkastella tuotantoprosesseja eri näkökulmista, joissa korostuvat eri tuotannonohjauksen haasteet. Ensimmäinen näistä on virtausyksikön liike, jonka perusteella tuotantojärjestelmät voidaan luokitella seuraavasti:

- **Paja** eli tuotantojärjestelmät, joissa virtausyksikkö on joko paikallaan (esim. telakka), tai jossa sen liike on johonkin tuotantoresurssin liikkeeseen sidottu (käsityöläisverstaas).
- **Linja** (eng. disconnected flow), jossa virtausyksiköt liikkuvat joukoittain työasemalta toisella, mahdollisesti välivarastojen kautta. Tämä onkin teollisuudessa yleisin prosessityyppi, jossa korostuvat virtausyksikön liikkeeseen liittyvät ohjaus-haasteet; läpimenoaika ja välivarastoihin sidottu pääoma.
- **Liukuhihna** (eng. connected flow), jossa liukuhihna vie virtausyksikön pysähtymättä työasemalta toiselle.
- **Jatkuva virtaus**, joka on prosessiteollisuudessa tyypillinen (eng. continuous flow).

Materiaalivirrat tuotekirjon näkökulmasta

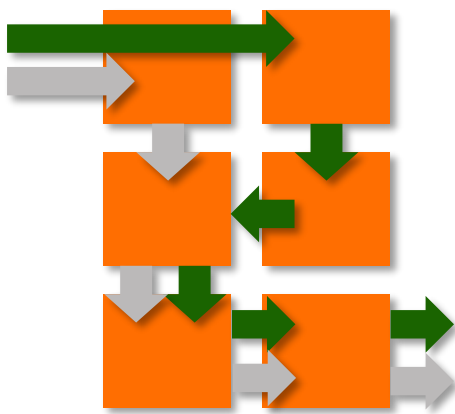
Valmistavassa tuotannossa materiaalivirtoja voidaan edelleen tarkastella tuotekirjon näkökulmasta, niin että materiaalivirroista muodostuu erilaisia ”pohjapiirustuksia”, tai malleja (layout).

- **I-mallin** tuotanto kuvaa tässä linjatuotantoa, jossa materiaalivirta muodostaa suoran viivan, ja hitain resurssi määrittelee tuotannon kapasiteetin.
- **A-mallissa** useampi materiaalivirta kohtaavat viimeisessä vaiheessa, joka yleensä on kokoonpano, ja tuotannonohjauksen haasteena on konvergoituvien materiaalivirtojen synkronointi.
- **V-mallissa** samoista raaka-aineista tai komponenteista valmistetaan useampaa tuotetta, ja tuotannonohjauksen haasteena on se, että eriytyvät materiaalivirrat kilpailevat samoista resursseista. Lisäksi voidaan puhua edellisten yhdistelmistä, joissa myös yhdistyvät niiden haasteet.

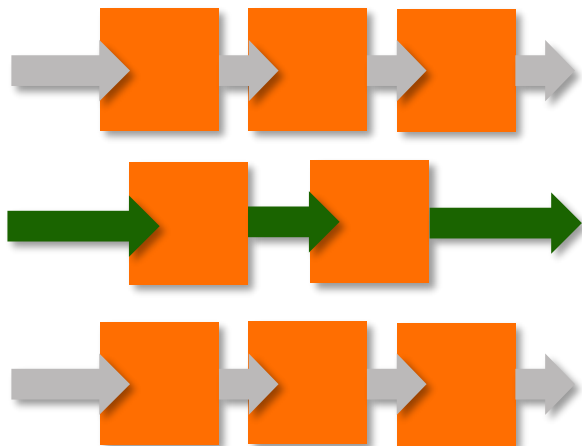
Tuotantojärjestelmät työasemien järjestyksen näkökulmasta

Toinen tapa tarkastella tuotantoprosesseja on työasemien järjestyksen näkökulmasta, jonka perusteella tuotantojärjestelmät voidaan luokitella seuraavasti:

- **Funktionaalinen layout** eli prosessi, jossa työasemat ovat erikoistuneita ja saman tyyppiset työasemat kootaan yhteen. Virtausyksiköt reititetään vaiheiden mukaisessa järjestyksessä työasemalta toiselle.
- **Prosessi layout**(tuotantolinja-layout), jossa virtausyksikön, eli tuote tyyppin mukaan järjestetyt työasemat, jossa tuotetyypin edellyttämät työasemat laitetaan prosessin mukaiseen järjestykseen.
- **Solutuotanto** eli näiden kahden välimuoto, jossa joukko erilaisia työasemia ryhmitellään soluksi, jonka sisällä virtausyksikkö kulkee määrättyä reittiä mahdollisimman sujuvasti mennäkseen sitten joko suoraan tai välivaraston kautta seuraavaan soluun. Työasemien järjestelyyn liittyvä haaste kiteytyy kapasiteetin käyttöasteen ja läpimenoajan väliseen suhteeseen.



Funktionaalinen layout



Prosessi layout

Standardisointiaste

Kolmas tapa tarkastella tuotantoprosesseja on niiden standardointiasteen mukaan. Tällöin oleellista on asetuksen (varsinkin miten päätetään mitä tehdään) ja suorituksen välinen suhde.

- **Standardoidussa prosessissa** työasema asetetaan kerran, jonka jälkeen työstetään joukko virtausyksiköitä samalla tavalla lukuisia kertoja. Tämä on tyypillistä suurvolyymituotannossa, jossa tuotetaan identtisiä kappaleita, esimerkiksi nauloja tai muoviosia suurina määrinä. Vastaavasti, henkilökohtaisissa palveluissa asetus on tehtävä erikseen jokaiselle virtausyksikölle.
- **Formatoidussa prosessissa** asetus tehdään rajallisella määrällä parametreja, jotka ovat ennalta määritellyt. Esimerkiksi pankkiautomaatti vaatii asiakkaalta joukon syötteitä, joiden yhdistelmä määrää yksiselitteisesti tehtävän suorituksen.
- **Rutiiniprosessissa** asiakas ja palvelutuottaja, esimerkiksi lääkäri neuvottelevat asetuksesta. Suoritukset ovat kuitenkin jaettavissa eri osakokonaisuuksiin ja niiden yhdistelmiin, kuten tutkimukset, verikokeet ja reseptit.
- **Eksploratiivisesta prosessista** voidaan puhua, jos prosessin alkaessa ei ole mahdollista tietää tai suunnitella kaikkia vaiheita alusta loppuun (eikä välttämättä edes tiedetä tarkalleen mikä päätepiste on). Prosessin vaiheet suunnitellaan ja asetetaan muutama kerrallaan, jonka jälkeen tarkastetaan tulos ja tehdään seuraavat päätökset. Tämä on tyypillistä päivystystapauksissa, tuotesuunnittelussa ja luovassa työssä. Palvelutuotanto tehostuu sitä mukaa kun eksploratiivinen prosessi muuttuu rutiininomaiseksi, rutiini voidaan formatoida ja sen myötä automatisoida tai siirtää asiakkaan suoritettavaksi.

Miten tuotantoa ohjataan?

Tuotantoprosessit pyritään suunnittelemaan niin, että ne toimivat tehokkaasti, ilman häiriötä ja mahdollisimman vähillä säädöillä. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista, vaan prosessit vaativat päivittäistä johtamista. Tuotannon ohjaus voidaan karkeasti jakaa kahteen eri tehtävään; tuotannon suunnittelu ja ohjaus, sekä laadunvarmistus. Eli toisin sanoen, miten päätetään mitä tehdään, minkä verran tehdään ja missä järjestyksessä tehdään, ja vastaavasti, miten varmistetaan, että tulee tehtyä juuri se mitä aiottiin tehdä.

Tuotannon suunnittelu

Tuotannon suunnittelua voidaan tarkastella kolmella eri aikajänteellä. Pitkällä aikavälillä tuotannon suunnittelu vastaa kysymykseen; miten paljon tuotanto- ja varasto- kapasiteettia tarvitaan, miten se saadaan käyttöön ja missä sitä tarvitaan. Tällä aikajänteellä mietitään siis esimerkiksi pitäisikö rakentaa uusi tehdas vai pitäisikö lisätä kapasiteettia alihankinnalla? Mihin tehdas pitäisi rakentaa, tai varasto sijoittaa? Miten nykyisiä tuotannon resursseja pitäisi kehittää? Keskipitkällä aikavälillä tuotannon suunnitteluun otetaan mukaan myynnin- ja hankinnan suunnittelu, jonka kautta pyritään varmistamaan, että myydään sen verran mitä pystytään tuottamaan tai että pystytään toimittamaan se mitä luvataan, ja että käytettävissä on sen verran materiaaleja ja resursseja mitä tarvitaan. Lyhyellä aikavälillä tuotannon suunnittelu vasta kysymykseen; mitä resursseja käytetään mihinkin tuotokseen, ja milloin tuotanto tapahtuu. Täällä tapahtuu resurssien allokonti, kapasiteetin hienokuormitus, toimitusten ja tuotannon aikataulutus sekä poikkeamien hallinta. Siinä missä pitkän aikavälin suunnittelussa ollaan hyvinkin lähellä tuotantojärjestelmän suunnittelua, lyhyen aikavälin suunnittelussa ollaan lähempänä tuotannon ohjausta. Tuotannon ohjaus voidaan rakentaa kolmen eri periaatteen mukaan, jotka ovat työntö- ja imuohjus, ja näiden välimuoto (eng. CONWIP, tai ”constant work-in-progress”), jossa keskeneräisen tuotannon määrä pyritään pitämään vakiona.

Työntöohjauksessa virtausyksiköt, käsitteen mukaisesti, työnnetään tuotantoprosessin läpi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, kysyntäennusteen perusteella suunnitellaan tuotantoerät, ja niiden keskinäinen järjestys niin, että tuotantoprosessi on mahdollisimman taloudellinen (esimerkiksi resurssitehokkuuden ja keskeneräisen tuotannon välisen suhteen näkökulmasta). Näin tuotantojärjestelmässä on selvää mitä kunakin hetkenä pitäisi tuottaa, mitä tuotetaan seuraavaksi, milloin raaka-aineita, osia ja komponentteja tarvitaan ja mikä toimituspäivämäärä asiakkaalle voidaan luvata.

Vastaavasti, **imuohjauksessa** virtausyksiköt ”imetään” tuotantoprosessin läpi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotanto aloitetaan asiakkaan tilauksesta. Prosessinäkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että kysyntä kohdistuu tuotantoprosessin viimeiseen vaiheeseen, joka antaa sitä edeltävälle vaiheelle luvan tuottaa, joka puolestaan antaa sitä edeltävälle vaiheelle luvan tuottaa, ja niin edelleen aina toimittajalle asti (joissakin tapauksissa). Näin tuotantojärjestelmässä on taas selvää mitä kunakin hetkenä pitäisi tuottaa, mitä tuotetaan seuraavaksi ja mikä toimituspäivämäärä asiakkaalle voidaan luvata. On kuitenkin huomattava, että koska imuohjauksessa ei muodosteta tuotantoeriä, on tuotantojärjestelmän kyettävä tuottamaan koko tuotekirjo ilman merkittäviä asetusaikoja, mikä rajoittaa mahdollista tuotekirjoa.

Käytännössä tuotantojärjestelmät ovat kuitenkin hyvin harvoin puhtaasti imuohjautuvia, koska toimitusaika asiakkaalle pitenee, mitä syvemmälle tuotantoon imu-ohjaus ulottuu. Jos esimerkiksi auto tuotettaisiin arvoketjun läpi imuohjautuvasti, niin teoriassa asiakkaan tilaus johtaisi siihen, että louhitaan se ensimmäinen pala rautamalmia – josta ajan myötä muotoutuu auton kori, mikä puolestaan tarkoittaisi vuosien toimitusaikaa. Imu- ja työntöohjauksen välimuodossa keskeneräisen tuotannon määrä pyritään pitämään vakiona.

Käytännössä tämä tarkoittaa jälleen sitä, että tuotanto aloitetaan asiakkaan tilauksesta, kuitenkin niin, että kysyntä kohdistuu tuotantoprosessin ensimmäiseen vaiheeseen. Keskenäisen tuotanto vakioidaan sääntelemällä tuotantojärjestelmässä samaan aikaan sallittujen asiakastilausten määrää, eli kun tuotantojärjestelmässä samanaikaisten tilausten määrä on täynnä, on seuraavan asiakkaan odoteltava jonkin tilauksen valmistumista ennen kuin hänen tilauksensa otetaan tuotantoon. Tämä siis huolimatta siitä onko ensimmäisessä prosessin vaiheessa vapaata kapasiteettia vaiko ei. Tämä välimuoto on yksinkertaisempi toteuttaa kuin puhdas imuohjaus, olettaen että tuotteet ovat suhteellisen identtisiä ja tuotantoprosessissa käytetään vain yhtä pääasiallista tuotannon reititystä.

Vaihtelu tuotannossa

Sen lisäksi että tiedetään mitä kunakin hetkenä pitäisi tuottaa, mitä tuotetaan seuraavaksi, milloin raaka-aineita ja komponentteja tarvitaan, ja mitä voidaan asiakkaalle luvata, tuotannon ohjaukseen kuuluu olennaisesti myös se, että varmistetaan että tuli tehtyä se mitä aiottiin tehdä. Tällöin siirrytään laadunhallinnan ja -varmistuksen puolelle, jota lähdemme tarkastelemaan vaihtelun (variability) kautta.

Ilmiönä vaihtelu pohjautuu siihen, että luonnossa tapahtuviin asioihin liittyy satunnaisuutta ja entropialla on taipumus kasvaa. Tuotanto on kuitenkin hyvinkin tavoitehakuista toimintaa, joka vaatii kuria ja järjestystä. Täten vaihtelun tunnistaminen, ymmärtäminen, poistaminen tai vähintään sen hallinta on tuotannon ohjauksen toinen keskeinen tehtävä. Tuotannossa voidaan käyttää käsitettä **virhevaihtelu**, koska toiminnalle on asetettu tavoite – esimerkiksi insinööri on suunnitellut jollekin koneen osalle tietyn geometrian ja antanut tavoitearvot ja toleranssit – ja tuotannon aikaansaamat poikkeamat tästä tavoitteesta voidaan tunnistaa, ja ne ovat mitattavissa. Tuotannon tavoite ja toteutuman poikkeamat muodostavat **teknisen laadun** (eng. technical quality tai small q). Laadun kehittämisen kannalta on olennaista tunnistaa eri virhevaihtelun syyt, koska niihin vaikutetaan eri menetelmin. Nämä syyt voidaan jakaa karkeasti kahteen eri tyyppiin: erityisiin syihin, ja yleisiin syihin.

Erityisistä syistä johtuva vaihtelu (eng. specific causes) tarkoittaa tuotantojärjestelmän ulkopuolisia häiriöitä kuten viallinen materiaali tai pöly. Ne esiintyvät tietyssä ajassa ja paikassa ja syyt voidaan siten tunnistaa tuotantodatasta ”poikkeuksellisin” poikkeamina. Nämä virhesyyt pyritään poistamaan erilaisilla menetelmillä, kuten sopimuksiin kirjatulla laatuvaatimuksilla, komponenttitoimitusten ja keskenäisen tuotannon tarkastamisella ja toimilla, jotka suojelevat tuotantoa ulkopuolelta tulevalta vaihtelulta (eli järjestelmän sulkeminen). Tätä kutsutaan laadun varmistukseksi (eng. quality assurance) ja sitä varten on kehitetty erilaisia laatuja järjestelmiä, kuten esimerkiksi ISO9001.

Yleisistä syistä johtuva vaihtelu (common causes) puolestaan johtuu tuotantojärjestelmälle ominaisesta (sisäisestä) vaihtelusta. Eli, vaikka järjestelmä toimii niin kuin se on suunniteltu, siinä esiintyy vääjäämättä satunnaisvaihtelua, eli normaalia poikkeamaa, jolle ei voida määrittää erityisiä syytä. Tätä normaalia poikkeamaa kuvataan mm. **sigma-luvuilla**, eli miten monta keskihajontaa mahtuu annettuun toleranssiväliin. 3-sigma-laadussa on 0,4% virhevaihtelua, kun taas 6-sigma-laadussa 4 virtausyksikköä miljoonasta ovat virheellisiä. Yleisistä syistä johtuvan virhevaihtelun vähentäminen edellyttää tuotantojärjestelmän laaduntuottokyvyn parantamista, esimerkiksi teknisten innovaatioiden kautta.

Tilastollinen laadunohjaus (eng. Statistical Process Control (SPC)) on menetelmä, jonka avulla pyritään ohjaamaan tuotantoprosessia, ja sen tuottamaa laatua, seuraamalla miten laadun vaihtelua kuvaavat mittarit kehittyvät ajan (tai toistojen) myötä. Tässä kuvastavassa yleiset syyt muodostavat stabiilin jakauman tavoitearvon ympärille. Erityiset syyt puolestaan näyttäytyvät piikkeinä prosessin aikajanakuvauksessa tai tavoitearvosta pois vaeltavana prosessin keskiarvona. Erityisten syiden havaitsemiseksi prosessille määritellään

varoitusrajat ja kontrollirajat. Varoitusrajan ylittäessään prosessi on vielä hallinnassa (eli tuottaa toleranssien sisällä olevaa laatua), mutta poikkeaa kuitenkin selvästi normaalista vaihtelusta – eli jokin vaikuttaa olevan (tilastollisesti) vialla. Kontrollirajan ylittäessään prosessi ei ole enää hallinnassa, eli tuottaa sekundaa. Jos laatuvirheet pääsevät huomaamatta tuotantojärjestelmän läpi, ne johtavat negatiiviseen asiakaskokemukseen. Jos laatuvirheet huomataan tuotannossa, ne johtavat säätöihin, materiaalihukkaan ja uudelleen työstämiseen. Monimutkaisissa tuotantojärjestelmissä tehokkuuden edellytyksenä onkin, että asiat saadaan tehtyä kerralla oikein – eli huonoon laatuun ei ole varaa.

Siinä missä tekninen laatu tarkoittaa virheetöntä, annettujen vaatimusten mukaista suoritusta. Termiä laatu käytetään myös laajemmassa merkityksessä; **funktionaalinen laatu** (eng. functional quality, tai Big Q), kuvaamaan asiakkaiden kokemuksia ja niistä mahdollisesti seuraavaa ostokäyttäytymistä. Siinä missä tekninen laatu on tavoitteiden ja toteuman välinen suhde, funktionaalinen laatu on odotusten ja kokemusten välinen suhde (eng. expectations versus experiences). Funktionaalisen laatuun liittyy haasteita, joihin ei ole ns. teknistä ratkaisua, esimerkiksi miten asiakkaiden odotukset tunnistetaan ja muunnetaan tuotteen tai palvelun ominaisuuksiksi, ja miten eri asiakkaat kokevat tämän tuotteen tai palvelun eri tilanteissa. Palvelutuotannossa laatu on ylimalkaan haasteellisempi käsite asiakkaiden moninaisuuden tuodessa tuotantoprosessiin vaihtelua. Ihmisten halut ja kyvyt vaihtelevat, ja palveluja kysytään silloin kuin sopii tai kun tarve ilmenee. Jos järjestelmän sulkeminen vaihtelulta ei ole vaihtoehto – kampaamon ovi voidaan lukita, mutta arvoa ei voida tuottaa ilman asiakasta – joudutaan vaihtelun kanssa elämään. Palvelutuotantojärjestelmien keskeinen ominaisuus onkin se, että ne ovat robusteja, eli ne sietävät vaihtelua.