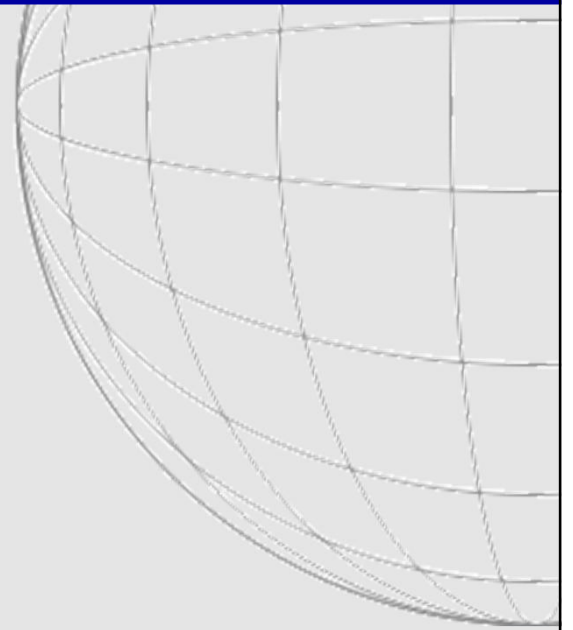


Kertauslaskuja

- *menetelmäluento* -



Kurssin laskutyyppejen tärkeys tentissä

Menetelmäpainotteiset luennot Tiheysindeksi

3 Ennustaminen

Naiivi ja suora viiva	1	
Liukuva keskiarvo	3	
Eksponentiaalinen tasoitus		5
Trendikorjattu eksponentiaalinen tasoitus	0	
Kausivaihtelu / Sesonikorjaus	1	
Ennustevirheet		5
Regressioanalyysi	0	

6 Kapasiteetti ja sen hallinta

Prosessin kapasiteetin määrittäminen ja pullonkaulaan investointi		5
Usean tuotteen kapasiteettitarve	1	
Kassavirta-/investointilaskelmat	0	
Päätöspuut	0	
Tuotevalikoimapäätökset (TOC)	0	

7 Sijaintipäätökset

Pisteytysmenetelmä	0	
Tuottolaskelmat	1	
Etäisyyden mittaaminen, load-distance, center-of-gravity	1	
Kuljetusallokointi		5

8 Tilasuunnittelu

Verstaan tilaratkaisut	1	
Tuotantolinjan tasapainotus		5

9 Työsuunnittelu ja mittaaminen

Aikatutkimus		5
Oppimiskäyrä	3	
Work Sampling	0	

11 Tilastollinen laadunvalvonta

Kontrollikartat (X-, R-, p- ja c-kartat)		5
Prosessin kyvykkyys		5
Acceptance Sampling	0	

13 Varastojen hallinta

ABC-analyysi	0	
Jatkuva varastonvalvonta (sis. varmuusvarastot, kokonaiskustannukset jne.)		5
Paljousalennukset	1	
Hidas varastontäydennys (ELS)		3
Jaksottainen varastovalvonta		5

Menetelmäpainotteiset luennot Tiheysindeksi

14 Karkea tuotannonsuunnittelu

Level- ja chase-strategia	1	
Lineaarinen optimointi	0	

15 Tuotannonsuunnittelu ja materiaalitarvelaskenta

Tuotantosuunnitelma (MPS) ja vapaana luvattavaksi (ATP)		5
Eräkokopolitiikat		5
Materiaalitarvelaskenta (MRP)		5

16 Töidenjärjestely

Prioriteettisäännöt		5
Suorituskykymittarit		5
Johnsonin algoritmi		5
Työaikataulukot	3	

18 Jonot ja niiden hallinta

M/M/1		5
M/M/s		5
Äärellinen popula	1	

19 Projektin hallinta

Kriittinen polku	3	
PERT		5
Kiirehtiminen		5

20 Hankintatoimi

Valmista vai osta -laskut	1	
---------------------------	---	--

Kertauslaskujen esimerkkilaskut

Menetelmäpainotteiset luennot Tiheysindeksi

3 Ennustaminen

Naiivi ja suora viiva
Liukuva keskiarvo
Eksponentiaalinen tasoitus
Trendikorjattu eksponentiaalinen tasoitus
Kausivaihtelu / Sesonkikorjaus
Ennustevirheet
Regressioanalyysi

1
3
5

6 Kapasiteetti ja sen hallinta

Prosessin kapasiteetin määrittäminen ja pullonkaulaan investointi
Usean tuotteen kapasiteettitarve
Kassavirta-/investointilaskelmat
Päätöspuut
Tuotevalikoimapäätökset (TOC)

1
5

7 Sijaintipäätökset

Pisteytysmenetelmä
Tuottolaskelmat
Etäisyyden mittaaminen, load-distance, center-of-gravity
Kuljetusallokointi

0
1
1
5

8 Tilasuunnittelu

Verstaan tilaratkaisut
Tuotantolinjan tasapainotus

1
5

9 Työsuunnittelu ja mittaaminen

Aikatutkimus
Oppimiskäyrä
Work Sampling

0
3
5

11 Tilastollinen laadunvalvonta

Kontrollikartat (X-, R-, p- ja c-kartat)
Prosessin kyvykkyys
Acceptance Sampling

0
5
5

13 Varastojen hallinta

ABC-analyysi
Jatkuva varastonvalvonta (sis. varmuusvarastot, kokonaiskustannukset jne.)
Paljousalennukset
Hidas varastontäydennys (ELS)
Jaksottainen varastovalvonta

0
1
3
5

Menetelmäpainotteiset luennot Tiheysindeksi

14 Karkea tuotannonsuunnittelu

Level- ja chase-strategia
Lineaarinen optimointi

1
0

15 Tuotannonsuunnittelu ja materiaalitarvelaskenta

Tuotantosuunnitelma (MPS) ja vapaana luvattavaksi (ATP)
Eräkokopolitiikat
Materiaalitarvelaskenta (MRP)

5
5
5

16 Töidenjärjestely

Prioriteettisäännöt
Suorituskykymittarit
Johnsonin algoritmi
Työaikataulukot

5
5
5
3

18 Jonot ja niiden hallinta

M/M/1
M/M/s
Äärellinen popula

5
5
1

19 Projektin hallinta

Kriittinen polku
PERT
Kiirehtiminen

3
5
5

20 Hankintatoimi

Valmista vai osta -laskut

1

Tehtävien tekstiapuvastaukset

Pyörän ketjujen kysynnän ennustaminen

Liukuva keskiarvo lasketaan n-edellisen edellisen jakson keskiarvona eli ensimmäinen viikko mille sen voi tässä tapauksessa laskea on viikko 3. Keskiarvot viikolle 3-5 ovat 40, 37 ja 41.5. Eksponentiaalisessa tasoituksessa ennuste lasketaan painottamalla edellisen jakson toteutunutta myyntiä alfalla ja edellisen jakson ennustetta 1-alfalla. Viikon 1 ennuste oli annettu (42), mutta jos sitä ei olisi tiedossa, se useimmiten oletettaisiin ensimmäisen jakson toteutuneen suuruiseksi (42). Viikkojen 2-5 ennusteiksi saadaan 42, 40,8, 39,36 ja 41,65.

Ennustevirhe lasketaan vähentämällä toteutuneesta myynnistä ennuste (yliennusteen etumerkki siis negatiivinen). CFE:ssä summataan ennustevirheet yhteen ja MAD:ssä lasketaan ennustevirheiden itseisarvojen keskiarvo. Liukuva keskiarvon osalta CFE=6 ja MAD=7, eksponentiaalisen tasoituksen tapauksessa CFE=1,16 ja MAD=5,48 (laskettaessa vuosille 2-4). Ennustevirheiden perusteella eksponentiaalinen tasointu on historiallisesti ennustanut menetelmistä paremmin.

Kapasiteettiongelma

Kyseessä on prosessin pullonkaulan selvittäminen prosessissa missä vaiheiden välillä ennalta määritellyt sekoitusuhheet. Alkuperäisessä tilanteessa pullonkaula on vaihe E ja kokonaiskapasiteetti 150 yksikköä. Absoluuttisesti eniten slackiä on vaiheessa A. Jos lisäkapasiteettia investoidaan pullonkaulaan vaiheeseen E uusiksi kokonaistuotantoa rajoittaviksi vaiheiksi tulevat vaiheet C ja G (prosessin kokonaiskapasiteetti nousee 180:een). Prosessin alkuperäisen kapasiteetin kaksinkertaistaminen 300 yksikköön vaatisi investointeja kaikkiin muihin vaiheisiin paitsi vaiheeseen A. Kaikki neljä välttämää pitävät siis paikkansa joten oikea vastaus on vaihtoehto 5.

Kuljetusten allokointi

Halvin allokointi löydetään Vogel'n approksimaatiota käyttämällä. Käytännössä siis lasketaan "rivi- ja sarakesakkoja", sijoitetaan kapasiteettia suhteellisesti suurimman kustannushyödyn antaviin tehdas-varasto pareihin ja toistetaan prosessia niin kauan kuin mahdollista joka kerta sakot uudelleen laskien. Kokonaiskustannukset minimoiva allokointi hinnaksi tulee 390 euroa ($10^5 + 20^4 + 10^3 + 20^9 + 10^5$).

Tuotantolinjan tasapainotus

Tuotantolinjalta vaadittava sykli aika 150 kpl tapauksessa on 3,2 minuuttia ja kaikki tehtävät onnistutaan tasapainottamaan 4 asemalla (A-BCF-DE-GH). Linjan tehokkuus on 92,2 % ja organisointi tuottaa voittoa 119 euroa (katteet $150 \cdot 2,5$ ja palkat $4 \cdot 8 \cdot 8$). Jos samalta linjalta halutaan valmistuvat päivässä 180 kpl niin "puuttuvien" 30 kpl tekeminen vaatii 1,6 tuntia ylimäärä (30kpl $\cdot 3,2 \text{min} = 96 \text{min} = 1,6 \text{tuntia}$) rivin alle jää vähemmän voittoa ($180 \cdot 2,5 - 4 \cdot 8 \cdot 8 - 4 \cdot 1,6 \cdot 12 = 117$). Suunniteltaessa tasapainotus alusta lähtien valmistamaan 180 kpl päivässä linjan sykliajaksi tulee 2,67 min ja tasapainottaminen onnistuu viidelle asemalle A-BE-CD-G-FH. Linjan tehokkuus on alhaisempi 88,4 % mutta rivin alle jää enemmän voittoa ($180 \cdot 2,5 - 5 \cdot 8 \cdot 8 = 130$).

Aikatutkimus

Tuotteen normaali ajaksi ($= t \cdot RF \cdot F$) saadaan 114,088 minuuttia ($= 17,538 + 42,750 + 7,050 + 46,750$) ja 20 % vara-ajalla standardiajaksi tulee 136,91 minuuttia ($= 114,088 \cdot 1,2$). Vaihtoehto 4 on siis oikein.

Oppimiskäyrä

Helppimmin kesto määritellään sijoittamalla annetut arvot oppimiskaavaan. Vaihtoehto 4 on oikein.

Teräslävyjen laatu

Ensimmäisessä kohdassa kyse X- ja R-kartoista (jatkuva muuttuja). X-kartan rajat 510,13 ja 495,81 (kaavana $\bar{X} \pm A \cdot R$) ja R-kartan 18,03 ja 0 (kaavoina D_R ja D_R). Huomaa taulukoiden käytössä otosten kpl-määrä ($n=3$). Prosessi näyttää olevan kontrollissa eli siinä on vain satunnaista vaihtelua (ei rajojen ylityksiä, ei peräkkäisiä pisteitä rajojen lähellä, ei peräkkäisiä pisteitä keskiarvon samalla puolella, ei selvää trendiä jne.). Toisessa kohdassa laskettava kyykykyiden analysointia varten Cpk ja Cp -indeksi. Asiakkaan asettaman toleranssi-/spesifikaattorajat ovat 485 ja 515 kiloa. Cpk-indeksi saa arvon 0,874 ($= (515-503)/(3 \cdot 4,59)$) eli prosessi ei nykyisellään ole kyykykäs (kolmen sigman laatuun vaaditaan indeksin arvo 1,00). Vastaavasti Cp indeksi saa arvon 1,0893 ($= (515-485)/(6 \cdot 4,59)$) eli keskitettyä prosessia olisi kyykykäs (indeksi arvo yli 1,00). Jos asiakkaat alkavat vaatia 4 sigman laatua (indeksin arvo 1,33 ja 99,9937 % hyviä) niin nykyisen prosessin keskihajontaa olisi pyydyttävä pienentämään 3,00 ja keskitetyn prosessin tapauksessa arvoon 3,75. Neljäs kohta vastaavasti p-kartta tilanne (ominaisuus, virheellisten osuus per otos). Kontrollikartan keskikohta 8,6 %, rajat 20,5 % ja 0 (keskihajonta kun $n=50$ kpl on 3,965). Viallisten levyjen määrässä näyttää myös olevan ainoastaan satunnaista vaihtelua (vaikka "asiakassätköilmasta" tilanne saattaa olla varsin toinen.

"Virheiden määrä" laatukartan yläkontrolliraja

Kyseessä c-kartta (ainoastaan virheiden määrä tiedetään). C-kartan yläkontrollirajan kaava $UCL_c = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{c}$ eli $8,7 + 3 \cdot \sqrt{8,7} = 17,55$ ja vaihtoehto 4 on oikein.

Varastonumerot varastopäällikölle

Perusvarastolasku jossa pitää osata sijoittaa kaavoihin oikeat arvot ja olla tarkkana yksikköjen kanssa. EOQ on 360 kpl ($\sqrt{(2 \cdot 50 \cdot 120 \cdot 108)/(10)}$). Jatkuvan varastovalvonnan tilauspiste saadaan kaavalla $R = dL + \text{varmuusvarasto}$ eli $120 \cdot 2 + 1,28 \cdot 30 \cdot \sqrt{2} = 294$ (varmuusvaraston koko siis 54 kpl) ja kokonaiskustannuksiksi tulee 4140 ($1800 + 1800 + 540$, säilytys- ja tilauskustannukset luonnollisesti EOQ-tilauksilla yhtä suuret). Jaksoittaisen varastohallinnan tapauksessa tarkasteluväliksi tulee kolme viikkoa ($P = EOQ/d = 360/120$), tilauksen ylätasoksi 686 kpl ($T = d \cdot (P+L) + \text{varmuusvarasto}$ eli $120 \cdot (3+2) + 1,28 \cdot 30 \cdot \sqrt{(3+2)} = 600 + 86$) ja kokonaiskustannuksiksi 4460 (suurempi varmuusvarasto nostaa kustannuksia).

Hidas varastontäydennys

Laskussa annetaan kaikki perustiedot; $D=5000$, $S=400$ ja 250 , $H=3 \cdot 25 \cdot \% = 0,75$, $d=5000/250=20$ ja $p=100$. ELS kaavaan sijoittamalla saadaan aluksi eräkooksi 2582 kpl ja kustannuksiksi 1549 euroa. Kuvaava tarvittavat tiedot ovat valmistus 129 päivän välein, 25,8 päivää kerralla ja max. varasto 2066 kpl (kasvaa aluksi 80 kpl per päivä ja erän tuotannon loputtua laskee 20 kpl per päivä). Asetuskustannusten pudottamisen jälkeen luvut 2041 kpl ja 1225 euroa. Uuden kuvan numerot 102 päivän välein, 20,4 päivää kerralla ja max. varasto 1633 kpl.

MPS + ATP + tilaukset

Leikkurien tuotantoerät valmistuvat viikoille 1, 3, 4, 6 ja 8. Vapana luvattavaksi ovat 66/1, 49/3, 45/4, 43/6 ja 100/8. Tilauksista hyväksytään tilaukset 1, 2 ja 3.

Tuotteen A valmistus

MRP:n tuoterakennella (BOM) kertoo aina tarvittavan kappalemäärän yhteen "emoonaan". Yhteen A:han tarvitaan 12 E:tä ($= 2 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 2$). F:n 30 kappaleen varasto riittää 10 B:n ($= 30/3$) valmistamiseen. Osia B ja D ei ole varastossa riittävästi 10 A:n valmistamiseen. Huomioiden C:n ja G varastomääritä lisätilauksen koko on tosiaan 5 kpl ($15A \rightarrow 15C$, $15C - 10C = 5C$, $5C \rightarrow 10G$, $10G - 5G = 5G$). Tuotteen pisin "polku" on A-D-H ja kokonaiskesto 6 viikkoa. Vaihtoehto 4 on oikein.

Monitasoinen MRP

Määritellään ensin A:n tuotantosunnitelman sekä annettujen lähtötietojen perusteella B:n ja C:n kokonaistarpeet (70/vk2, 80/vk4 ja 40/vk6 sekä 35/vk2, 40/vk4 ja 20/vk6). D:n ja E:n tarpeet määritellään vuorostaan C:n tuotannon aloitusajankohdan pohjalta. Taulukkojen alimmat rivit viikoista 1 eteenpäin ovat B 100-0-50, C 25-0-40-0-20, D 160 ja E 20-0-40. Lisäsuosituksina B:n sovitua toimitusta voidaan hidastaa 1 viikko ja E:n toimitusta pitää kirehtiä 1 viikko.

Töidenjärjestely

Kun työt tehdään SPT:n mukaan niin järjestys on H, M, R ja L. H tehtävänä 0-1, M työn alla 1-5, R 5-10 ja L 10-20. Kokonaistuotantoaika (makespan) on 20 päivää ja keskimääräinen työaika (average flow time) on 9 päivää ($= (1 \cdot 5 + 10 \cdot 20)/4$). Varastolliset tunnusluvut eli keskimääräiset töiden lukumäärät on 1,80 ja 2,55 (WIP ja total). Markkinoinnin näkökulmasta L myöhästyy viikon ($= 20/13$) eli keskimääräinen myöhästymisen on 1,75 päivää, myöhästyneitä töitä 1 kpl ja maksimi myöhästymisen 7 päivää. EDD-järjestys olisi H, R, L ja M. CR-järjestys taas L, R, H ja M. Käytännössä työjärjestyspäätöksessä huomioitaisiin myös tehtävien luonne (esim. tenttiin ei kannata alkaa lukemaan tenttipäivän jälkeen) ja niiden keskinäinen tarkeys.

Koululaisten autotapahtuma

Kokonaistuotantoaika minimoituu Johnsonin algoritmin avulla määritetyllä työjärjestyksellä (E-A-D-C-B). Muista ettei autoa voi alkaa vahata ennen kuin se on pesty. Välttämät 2 ja 3 pitävät paikkansa mutta väite 4 on väärin koska auto C valmistuu vauhausvaiheesta vasta ajankohdalla 31.

Työntekijöiden työvuorot

Määrittelymenetelmän opeteltu suurimman kolmen peräkkäisen päivän tarpeen estmistä ja työvuorojen sijoittamista näille päville. Vapapäivien peräkkäisyys vaatimuksen johdosta yritys joutuu palikkaamaan vähintään 10 työntekijää (päivittäisen tarpeen ylittävää työvuoroa tulee yhteensä 8 kappaletta).

Kampanaan jonot

Kyseessä perus M/M/1 tilanne. Palvelun tuottamistahti μ on 3 kpl per tunti ja asiakkaiden saapumistehyys λ ensin 1,5 asiakasta per tunti ja artikkelin jälkeen 2,4 asiakasta per tunti. Kaikki välttämät pitävät paikkansa.

Pääainemessujen jono

Kyseessä M/M/2 tilanne. Muistakaa ensin kääntää kestoajat kappale per aikayksikkö muotoon eli asiakasmäärä 40 kpl/t ja palvelutahhti 24 kpl/t per palvelija. Laskemisprosessia helpottaa huomattavasti annettu P(0) arvo ja välttämistä ainoastaan numero 3 pitää paikkansa.

Opiskelijatyön puhelin

Jonon pituus lasketaan äärellisen populan kaavoilla koska ihailijoita konkreettinen määrä (< 30 kpl). Kaikki tarvittavat tiedot on tehtävässä annettu joten keskeistä on vain valita oikeat kaavat ($N=3$, $\lambda=0,5$ per tunti, $\mu=3,3333$ kpl per tunti). Joutenolon todennäköisyys (P0) on 62,3 % ja jonon pituus 0,11 henkilöä.

Kriittinen polku

Kriittisen polun määrittäminen ei yleensä tuota ongelmia mutta virheiden välttämiseksi tässä laskussa kannattaa laskea jokaiselle aktiviteetille ES, LS, EF, LF ajankohdat. Vaihtoehdoista ainoa joka pitää paikkaansa on vaihtoehto 3 (aktiviteetilla E eniten joustoaikaa).

PERT -projekti

Lasketaan ensin jokaisen tehtävän painotettu kesto kaavalla $(a+4m+b)/6$. Huomioi parin vaiheen symmetriset ajat eli kaikkea ei tarvitse laskea laskimella. Projektin kriittinen polku selvitetään painotettujen kestojen avulla ja on A-C-F-G. Projektin odotettu kesto on kriittisen polun vaiheiden painotettujen kestojen summa eli 22 päivää. Yksittäisen vaiheen varianssi lasketaan kaavalla $((b-a)/6)^2$. Projektin keston varianssi on kriittisen polun vaiheiden varianssien summa eli $0,69 + 1,78 + 0,00 + 1,36 = 3,83$ päivää. Todennäköisyys, että projekti kestää yli 25 päivää saadaan laskemalla ensin z-arvo ($= (25-22)/\sqrt{3,83} = 1,533$) ja katsomalla sitten normaalijakaumasta z-arvon todennäköisyyskertymän oikea laita eli $1-0,9374 = 6,26\%$.

Projektin kirehtiminen

Alkutilanteessa projektin kesto on 13 päivää ja kriittinen polku B-E-I. Kokonaiskeston kahden päivän kirehtiminen tarkoittaa siis 11 päivän projektia. Edullisimmaksi tulee kirehtiä vaihetta B kahdella päivällä (kustannus 1000) ja vaihetta A yhdellä päivällä (kustannus 300). Yhteiskustannus 1300. Pelkkä B:n kirehtiminen ei riitä koska sen kirehtimisen jälkeen polku A-D-G-I muodostuu kriittiseksi 12 päivän kestollaan.

Valmista vai osta -päätös

Ennen pelhmeiden päätöksentekijöiden huomiointi joudutaan laskemaan kolmen vaihtoehdon break-even volyymit 1-asteen yhtälöillä. Esimerkiksi nykyisen ja potentiaalisen uuden toimittajan kustannukset ovat samat 100 kappaleen volyymilla ($10x = 100 \cdot 10 + (x-100) \cdot 9$). Vastaavasti 3900 kpl vuosivolyymin kohdalla itse tuottaminen muodostaa halvimaksi strategiaksi.

Tentin lopussa oleva kaavasisivu

Laatu:

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \bar{x} + z\sigma_{\bar{x}} \quad \bar{x} - z\sigma_{\bar{x}} \quad \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad D_4 \bar{R} \quad D_3 \bar{R}$$

$$\bar{p} + z\sigma_p \quad \bar{p} - z\sigma_p \quad \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

$$\bar{c} + z\sigma_c \quad \bar{c} - z\sigma_c \quad \sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Min}\left(\frac{\bar{x} - \text{LTL}}{3\sigma}, \frac{\text{UTL} - \bar{x}}{3\sigma}\right) \quad \frac{\text{UTL} - \text{LTL}}{6\sigma}$$

n	A ₂	D ₃	D ₄
2	1,880	0	3,267
3	1,023	0	2,575
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Varastot:

$$\sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad \frac{\text{EOQ}}{D \text{ tai } d} \quad dL \quad OH + SR - BO \quad \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) \quad dL + z\sigma_L \quad z\sigma_L \quad \sigma_L \sqrt{L}$$

$$\frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + Hz\sigma_L \quad z\sqrt{L\sigma_{\text{kysyntä}(t)}^2 + \bar{d}^2\sigma_{\text{toimitusaika}}^2} \quad \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

$$\sqrt{\frac{2DS}{H}} \sqrt{\frac{p}{p-d}} \quad \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)(H) + \frac{D}{Q}(S) \quad \frac{\text{ELS}}{D \text{ tai } d} \quad \frac{\text{ELS}}{p} \quad Q\left(\frac{p-d}{p}\right)$$

$$\frac{\text{EOQ}}{D \text{ tai } d} \quad d(P+L) + z\sigma_{P+L} \quad z\sigma_{P+L} \quad \sigma_L \sqrt{P+L} \quad T - IP \quad \frac{dP}{2}(H) + \frac{D}{dP}(S) + Hz\sigma_{P+L}$$

Jonot:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad \rho = 1 - P_0 \quad P_0 = 1 - \rho \quad P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho}\right) \right]^{-1}$$

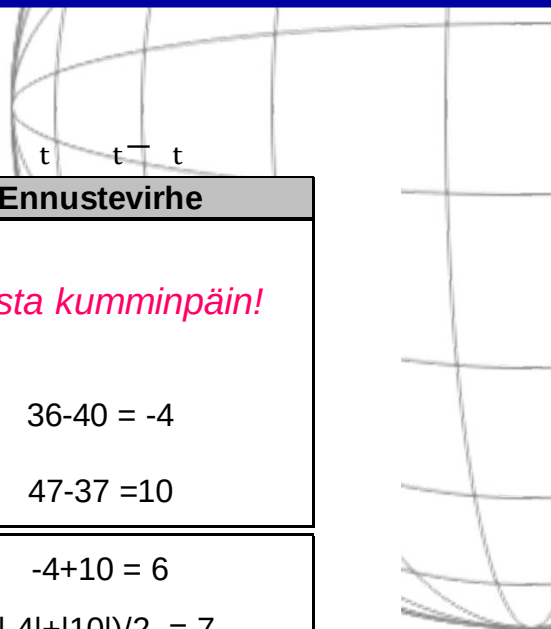
$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right]^{-1} \quad L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad L = \lambda W \quad L = N - \frac{\mu}{\lambda}(1 - P_0) \quad L_q = \rho L$$

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

$$W = \frac{L}{(N-L)\lambda} \quad W_q = \rho W \quad W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad W_q = \frac{L_q}{(N-L)\lambda}$$

Muut kaavat
pitää osata
ulkoa... J

Ennustamislasku



Viikko	Myynti	Ennuste: 2-viikon liukuva keskiarvo	Ennustevirhe
1	42		
2	38		
3	36	$(42+38)/2 = 40$	$36-40 = -4$
4	47	$(38+36)/2 = 37$	$47-37 = 10$
		Cumulative forecasting error - CFE	$-4+10 = 6$
		Mean absolute deviation - MAD	$(-4 + 10)/2 = 7$
		Ennuste viikolle 5	$(36+47)/2 = 41,5$

MAD siis "itsenäinen"!

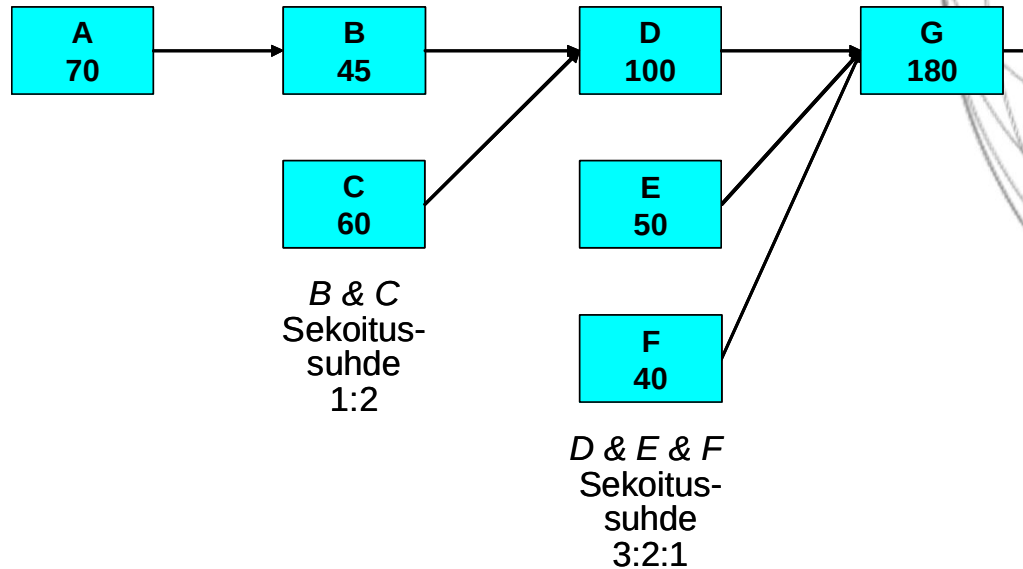
$$\alpha_t (1 - \alpha)_{t+1}$$

Viikko	Myynti	Ennuste: Eksponentiaalioenen tasoitus (alfa=0,3)	Ennustevirhe
1	42	42	
2	38	$0,3*42+0,7*42 = 42$	$38-42 = -4$
3	36	$0,3*38+0,7*42 = 40,8$	$36-40,8 = -4,8$
4	47	$0,3*36+0,7*40,8 = 39,36$	$47-39,36 = 7,64$
		Cumulative forecasting error - CFE	$-4-4,8+7,64 = -1,16$:)
		Mean absolute deviation - MAD	$(-4 + -4,8 + 7,64)/3 = 5,48$:)
		Ennuste viikolle 5	$0,3*47+0,7*39,36 = 41,65$ <==

Arvot edelliseltä jaksolta ja painot oikeinpäin!

Muista myös MSE ja MAPE

Kapasiteetilasku



1 ja 2)

Kapasit.						Slack
A	70	70	45	30	25	45
B	45	70	45	30	25	20
C	60		90	60	50	10
D	100			90	75	25
E	50			60	50	PK
F	40				25	15
G	180				150	30

Muista laskea tarpeet
"taaksepäinkin"

kapas. 150

3)

Kapasit.				Slack
A	70	30	40	
B	45	30	15	
C	60	60	PK	
D	100	90	10	
E	∞	60	-	
F	40	30	10	
G	180	180	PK	

kapas. 180

4)

Kapasit.			Tarve
A	70	50	-
B	45	50	5
C	60	100	40
D	100	150	50
E	50	100	50
F	40	50	10
G	180	300	120

kapas. 300

(eli =2*150)

Kuljetusallokaatiolasku

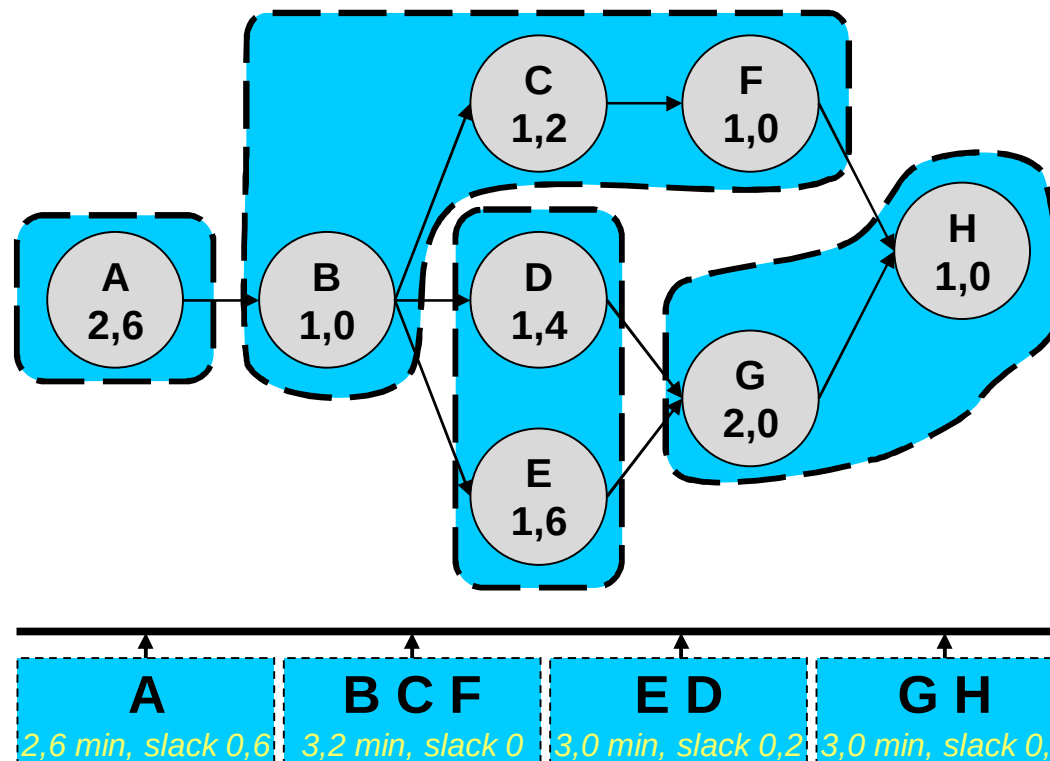
	Varasto 1	Varasto 2	Varasto 3	Tarjonta	
Tehdas 1	¹⁾ €5 10	€4 0	€3 0	10	1
Tehdas 2	€8 0	²⁾ €4 20	³⁾ €3 10	30	1 5
Tehdas 3	⁵⁾ €9 20	€7 0	⁴⁾ €5 10	30	2 4
Kysyntä	30	20	20	70 70	
	3 1	0 3	0 2	TC=390	

Tuotantolinjan tasapainotuslasku

case 150)

$$\text{Sykلياika } C = \frac{8t * 60 \text{ min/t}}{150 \text{ kpl}} = 3,2 \text{ min}$$

$$\text{Teoreettinen työ-
asemien minimimäärä } T_M = \frac{11,8 \text{ min}}{3,2 \text{ min}} = 3,69 \Rightarrow 4 \text{ asemaa}$$



Myyntikatteet:

$$= 150 \text{ kpl} * 2,5 \text{ €/kpl} \\ = 375 \text{ €}$$

Palkat:

$$= 4 \text{ henk.} * 8 \text{ t} * 8 \text{ €/t} \\ = 256 \text{ €}$$

EROTUS: 119 €

$$\left(\frac{\quad}{*} \right)$$

Tuotantolinjan tasapainotuslasku jatkuu

case ylityöt)

Ylityövaihtoehdon idea on, että linja pysyy samanlaisena (C=3,2min ja 4 asemaa), mutta päivittäinen työaika on pidempi.

**Ylitöillä pitäisi päivässä tuottaa "puuttuvat" $180-150=30$ kpl
→ 30 kpl tuottaminen vaatii ylitöitä $30\text{kpl} \cdot 3,2\text{min/kpl} = 96$ min (eli $1,6$ t)**

Myyntikatteet:

$$= 180 \text{ kpl} \cdot 2,5 \text{ €/kpl} = 450 \text{ €}$$

Palkat (perus):

$$= 4 \text{ henk.} \cdot 8 \text{ t} \cdot 8 \text{ €/t} = 256 \text{ €}$$

Palkat (ylityöt):

$$= 4 \text{ henk.} \cdot 1,6 \text{ t} \cdot 12 \text{ €/t} = 77 \text{ €}$$

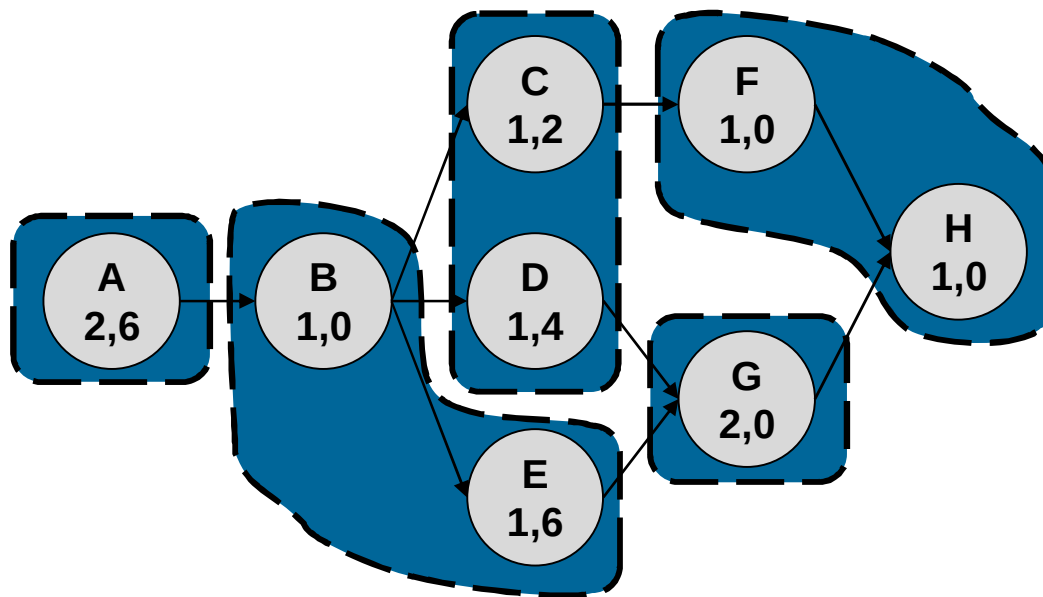
EROTUS: 117 €

Tuotantolinjan tasapainotuslasku jatkuu

case 180)

$$\text{Sykلياika } C = \frac{8t * 60 \text{ min/t}}{180 \text{ kpl}} = 2,67 \text{ min}$$

$$\text{Teoreettinen työ-
asemien minimimäärä } TM = \frac{11,8 \text{ min}}{2,67 \text{ min}} = 4,43 \Rightarrow 5 \text{ asemaa}$$



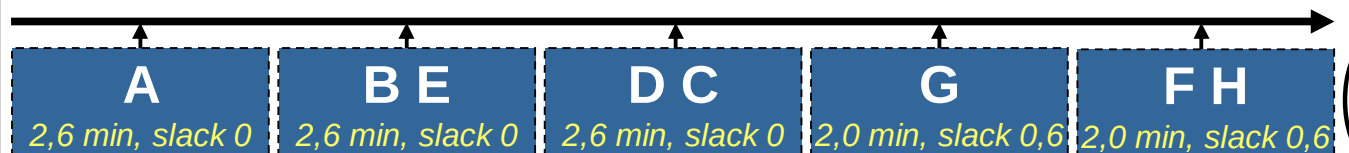
Myyntikatteet:

$$= 180 \text{ kpl} * 2,5 \text{ €/kpl} \\ = 450 \text{ €}$$

Palkat:

$$= 5 \text{ henk.} * 8 \text{ t} * 8 \text{ €/t} \\ = 320 \text{ €}$$

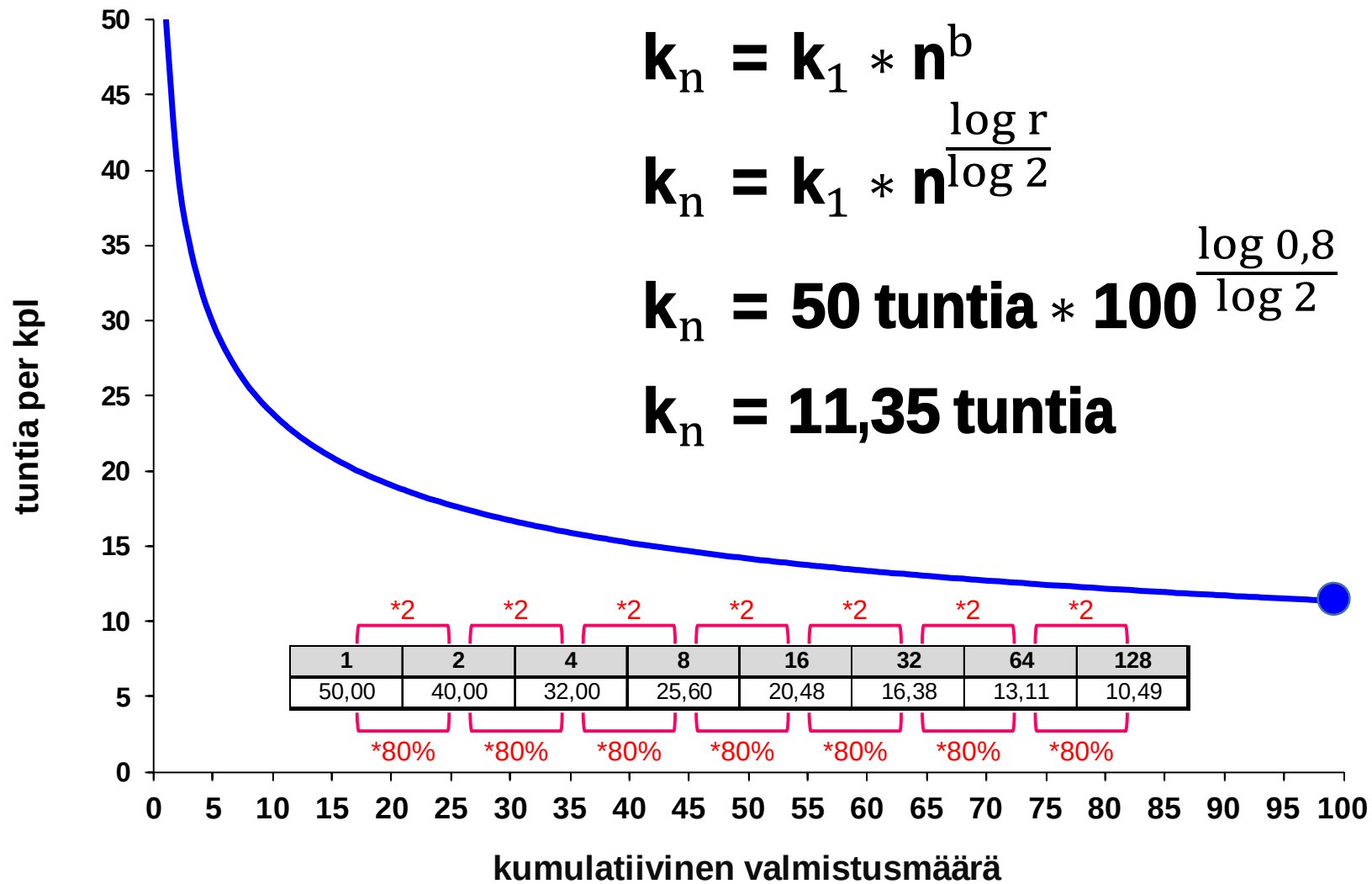
EROTUS: 130 € *korkein*



Työnsuunnittelulasku

					Tehokkuusindeksi (rating factor)		Toistot per kirjain (frequency)			

Oppimiskäyrälasku



Laatulasku I

	1&4) Kontrolli	2&3) Kyvykkyys
Keskeinen kysymys	Onko prosessi kontrollissa (eli onko siinä pelkästään satunnaista vaihtelua)?	Pystyykö prosessi vastaamaan asiakkaan toiveisiin (eli onko riittävän moni hyviä)?
Analysoitava asia	Ei-satunnaisen vaihtelun (eli ongelmien) olemassaolo	Satunnaisen vaihtelun määrä
Analyysityökalu	Kontrollikartat	Kyvykkyysindeksit
Analyysin kohde	Prosessista otettavat otokset	Kaikki, yksittäiset, nimikkeet
Analyysin vertailukohta	Prosessi itse	Asiakkaan määrittämät rajat

Laatulasku I jatkuu

1)

$\bar{X}$ – kartan kontrollirajat

$$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 503 + 1,023 * 7 = 510,16$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 503 - 1,023 * 7 = 495,84$$

R – kartan kontrollirajat

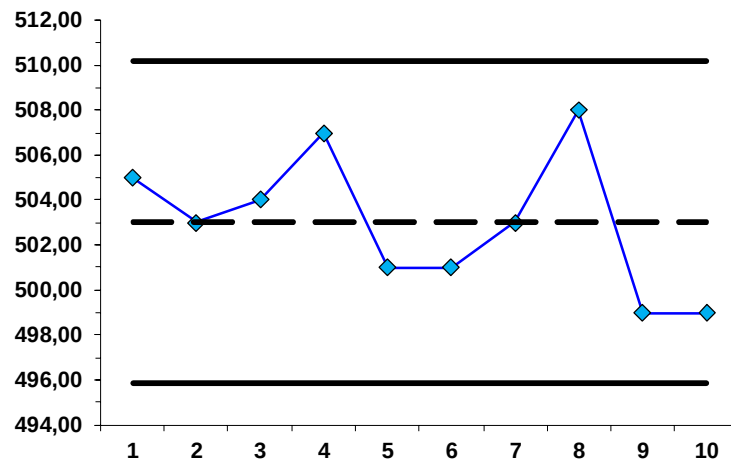
$$UCL = D_4 \bar{R} = 2,575 * 7 = 18,03$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 * 7 = 0$$

X- ja R-karttojen arvoja

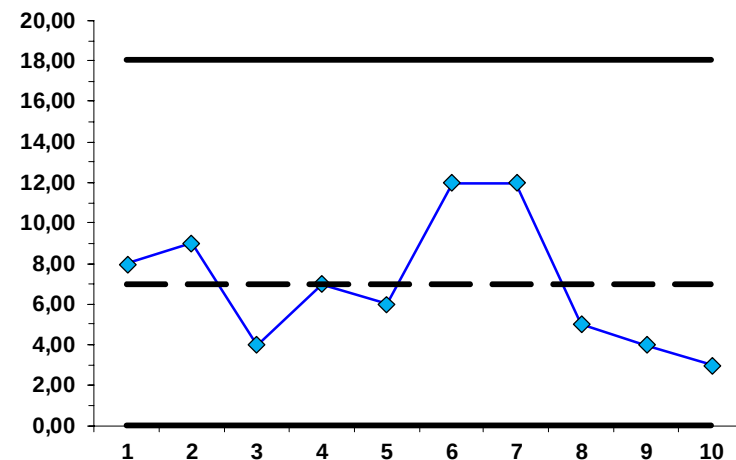
n	A ₂	D ₃	D ₄
2	1,880	0	3,267
3	1,023	0	2,575
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

X-kartta



Kumpikin
kartta
näyttää aika
satunnaiselta
eli prosessi
on kontrollissa

R-kartta



Laatulasku I jatkuu

2)

HUOM!
UCL ja UTL
eri asioita

("nykytila")

$$C_{pk} = \min \left(\frac{\bar{X} - LTL}{3\sigma}, \frac{UTL - \bar{X}}{3\sigma} \right) = \min \left(\frac{503 - 485}{3 * 4,59}, \frac{515 - 503}{3 * 4,59} \right)$$

vakio →

$$= \min (1,305, 0,874) \rightarrow 0,874$$

Prosessi ei ole kyvykäs
koska $C_{pk} < 1,00$ (3-sigman raja)

("potentiaali
keskitettynä")

$$C_p = \frac{UTL - LTL}{6\sigma} = \frac{515 - 485}{6 * 4,59} = 1,0893$$

vakio →

Prosessi olisi keskitettynä kyvykäs
koska $C_p > 1,00$ (3-sigman raja)

3)

$$C_{pk} = 1,33$$

(4-sigman laatua)

Pienennä hajontaa 4,59 → 3

$$\left(\frac{515 - 503}{3 * 3} = 1,33 \right)$$

Keskiarvo kohdalle ja
pienennä hajontaa 4,59 → 3,75

$$\left(\frac{515 - 500}{3 * 3,75} = 1,33 \right)$$

Laatulasku I jatkuu

4)

$$\bar{p} = \frac{\text{Virheellisten määrä}}{\text{Havaintojen määrä}} = \frac{43}{10 \cdot 50} = 0,086 \text{ (eli 8,6\%)}$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0,086 \cdot (1 - 0,086)}{50}} = 0,03965 \text{ (eli 3,965\%)}$$

Huom!

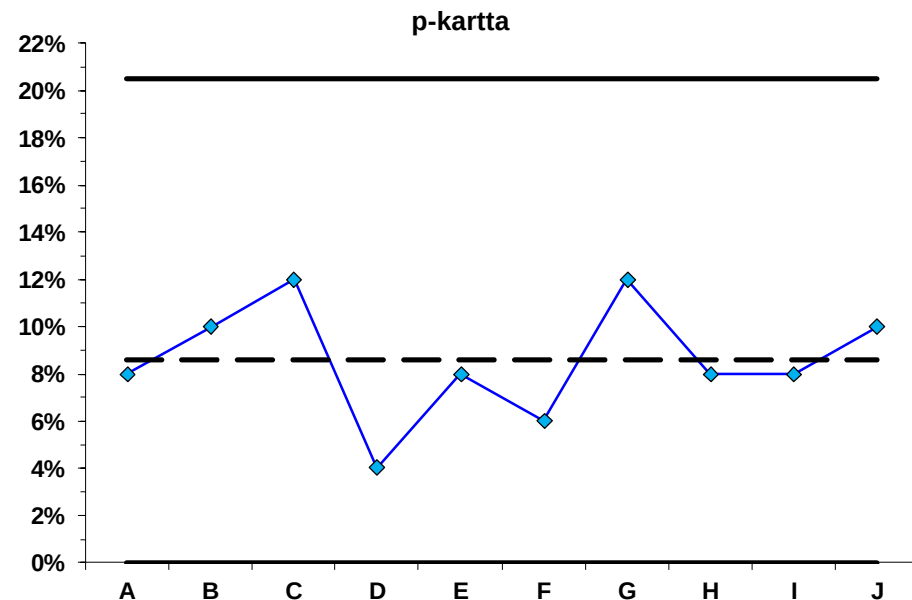
$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \bar{p} + z\sigma_p \\ &= 8,6 \% + 3 \cdot 3,965 \% = 20,49 \% \end{aligned}$$

oletusarvo 3

$$\begin{aligned} \text{LCL} &= \bar{p} - z\sigma_p \\ &= 8,6 \% - 3 \cdot 3,965 \% = -3,29\% \\ &\rightarrow 0 \% \end{aligned}$$

Näyttää aika satunnaiselta eli prosessi on kontrollissa

Virheellisten
osuuden
kontrollia
arvioidaan
p-kartalla



Laatulasku II

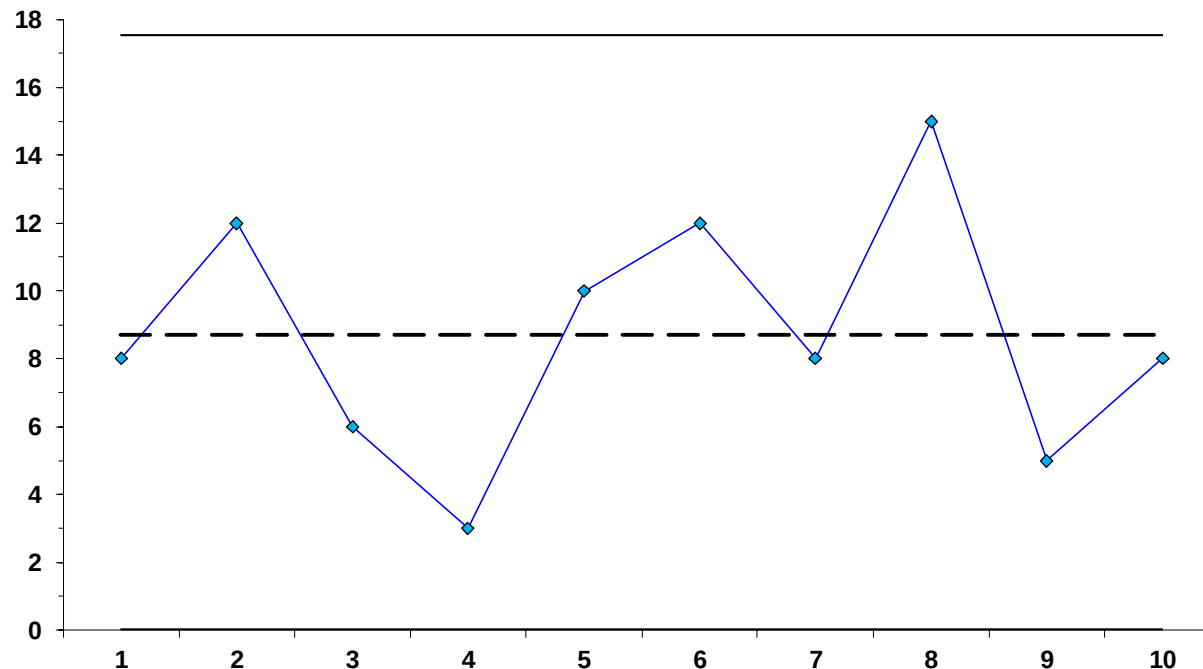
Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Virheet	8	12	6	3	10	12	8	15	5	8

Ka.
8,7

Virheiden
lukumäärän
kontrollia
arvioidaan
c-kartalla

$$UCL = \bar{c} + z\sigma_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 8,7 + 3\sqrt{8,7} = 17,55$$

$$LCL = \bar{c} - z\sigma_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 8,7 - 3\sqrt{8,7} = -0,15 \Rightarrow 0$$



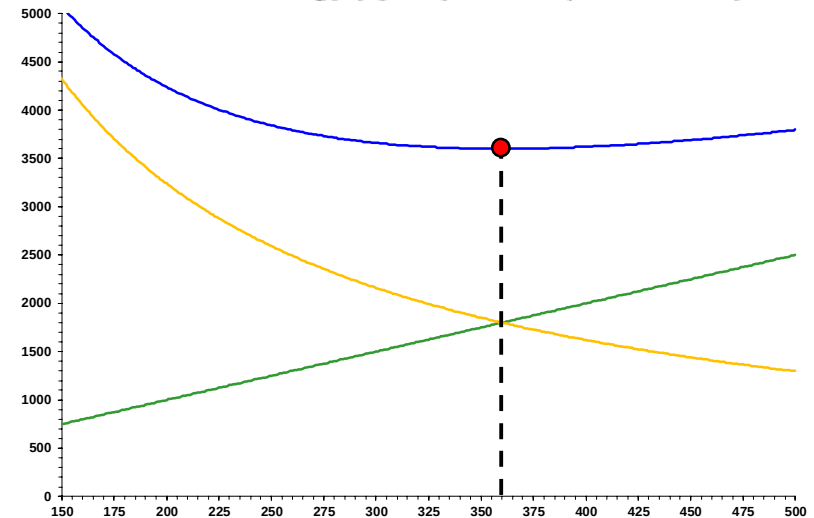
Prosessi
näyttää
olevan
kontrollissa,
eli vain
satunnaista
vaihtelua J

Varastolasku

Jatkuva valvonta (Q):

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2 * (50 * 120) * 108}{10}} = 360 \text{ kpl}$$

per vuosi (pointing to 50)
per yksi tilaus (pointing to 120)
per yksi kpl per vuosi (pointing to 108)

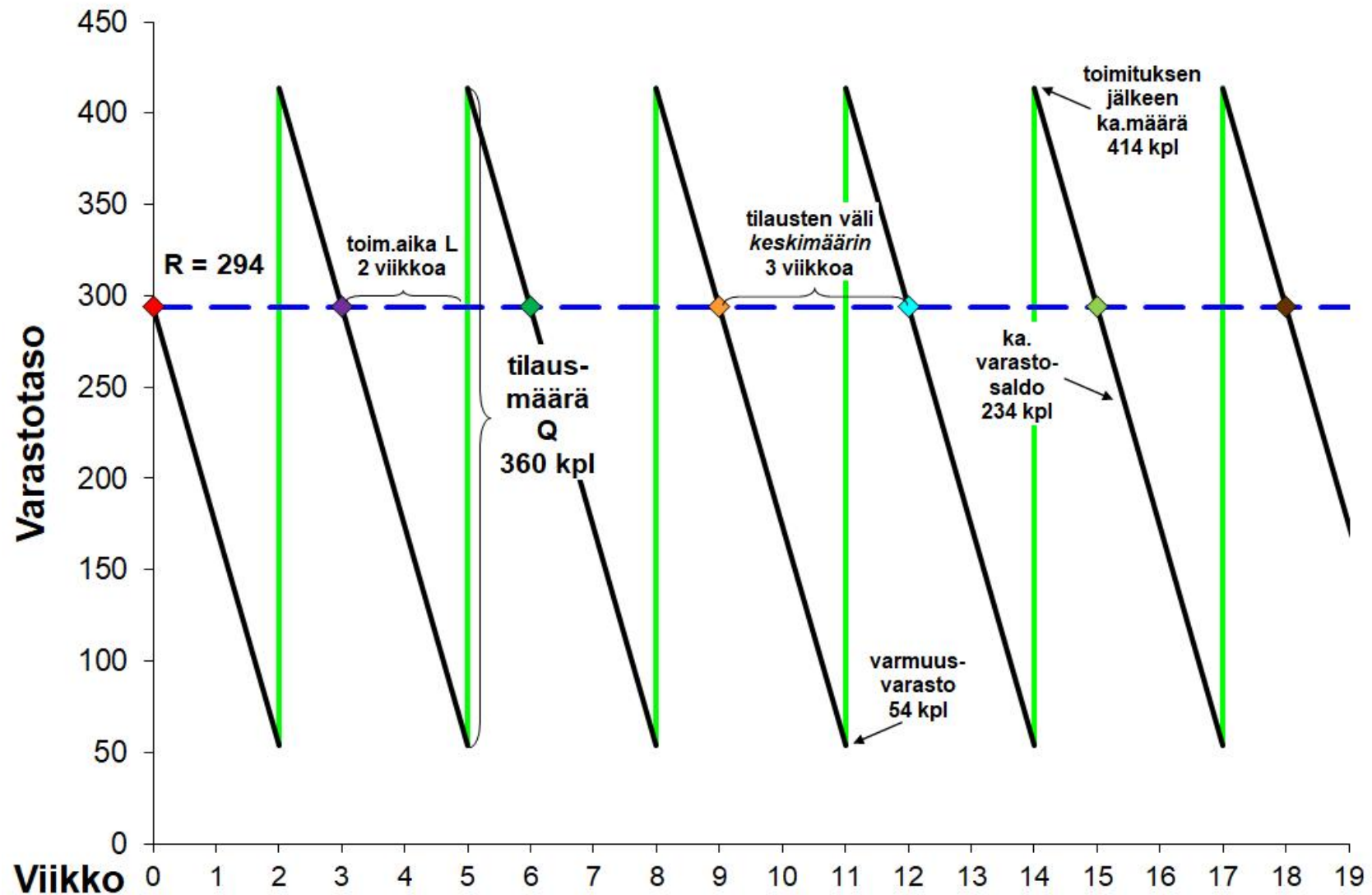


$$R = dL + z\sigma_L = dL + z\sigma_t \sqrt{L} = 120 * 2 + 1,28 * 30 * \sqrt{2} = 240 + 54 = 294$$

$$TC = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S + H * SS = \frac{360}{2} * 10 + \frac{50 * 120}{360} * 108 + 10 * 54 = 1800 + 1800 + 540 = 4140$$

syklivaraston säilyttäminen ja tilaaminen yhtä kallista J (pointing to the 1800 + 1800 part)

Varastolasku jatkuu



Varastolasku jatkuu

Jaksottainen valvonta (P):

$$P = \frac{EOQ}{d} = \frac{360}{120} = \mathbf{3} \text{ viikkoa}$$

ideana määrittää tarkasteluväli niin, että tilattava (vaihteleva) määrä "pyörisi" EOQ-määrän ympärillä

$$\begin{aligned} T &= d(P + L) + z\sigma_{P+L} = d(P + L) + z\sigma_t \sqrt{P + L} \\ &= 120 * (3+2) + 1,28 * 30 * \sqrt{3 + 2} \\ &= 600 + \mathbf{86} = \mathbf{686} \text{ kpl} \end{aligned}$$

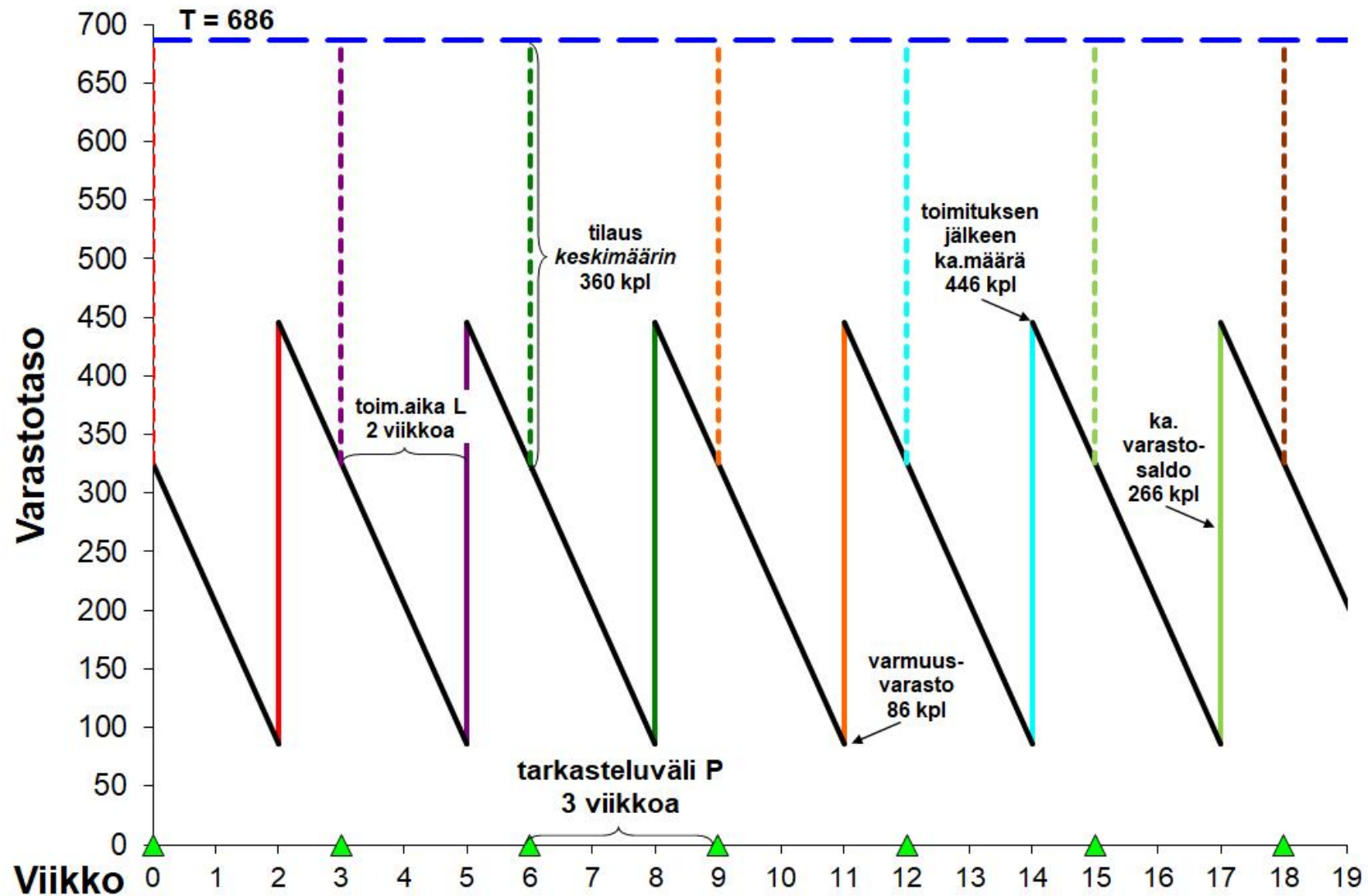
vrt. SS_q 54 kpl

$$\begin{aligned} TC &= \frac{dP}{2} H + \frac{D}{dP} S + H * SS \\ &= \frac{120*3}{2} * 10 + \frac{50 * 120}{120*3} * 108 + 10 * 86 \\ &= \mathbf{1800} + \mathbf{1800} + \mathbf{860} = \mathbf{4460} \end{aligned}$$

ainoastaan SS kustannus nousee J



Varastolasku jatkuu



Hitaan täydennyksen lasku

$$\begin{aligned} \text{ELS} &= \sqrt{\frac{2DS}{H}} \sqrt{\frac{p}{p-d}} = \sqrt{\frac{2*5000*400}{0,75}} \sqrt{\frac{100}{100-20}} \\ &= 2309*1,118 = 2582 \text{ metriä} \end{aligned}$$

älä sekoita
ELS- ja EOQ-
tilanteita
(ja kaavoja)

$$\begin{aligned} \text{TC} &= \frac{Q}{2} \left(\frac{p-d}{p} \right) H + \frac{D}{Q} S = \frac{2582}{2} * \left(\frac{100-20}{100} \right) * 0,75 + \frac{5000}{2582} * 400 \\ &= 775 + 775 = 1549 \text{ €} \end{aligned}$$

Tuotannon aloittamisen väli:

$$\frac{\text{ELS}}{d} = \frac{2582}{20} = 129 \text{ päivää}$$

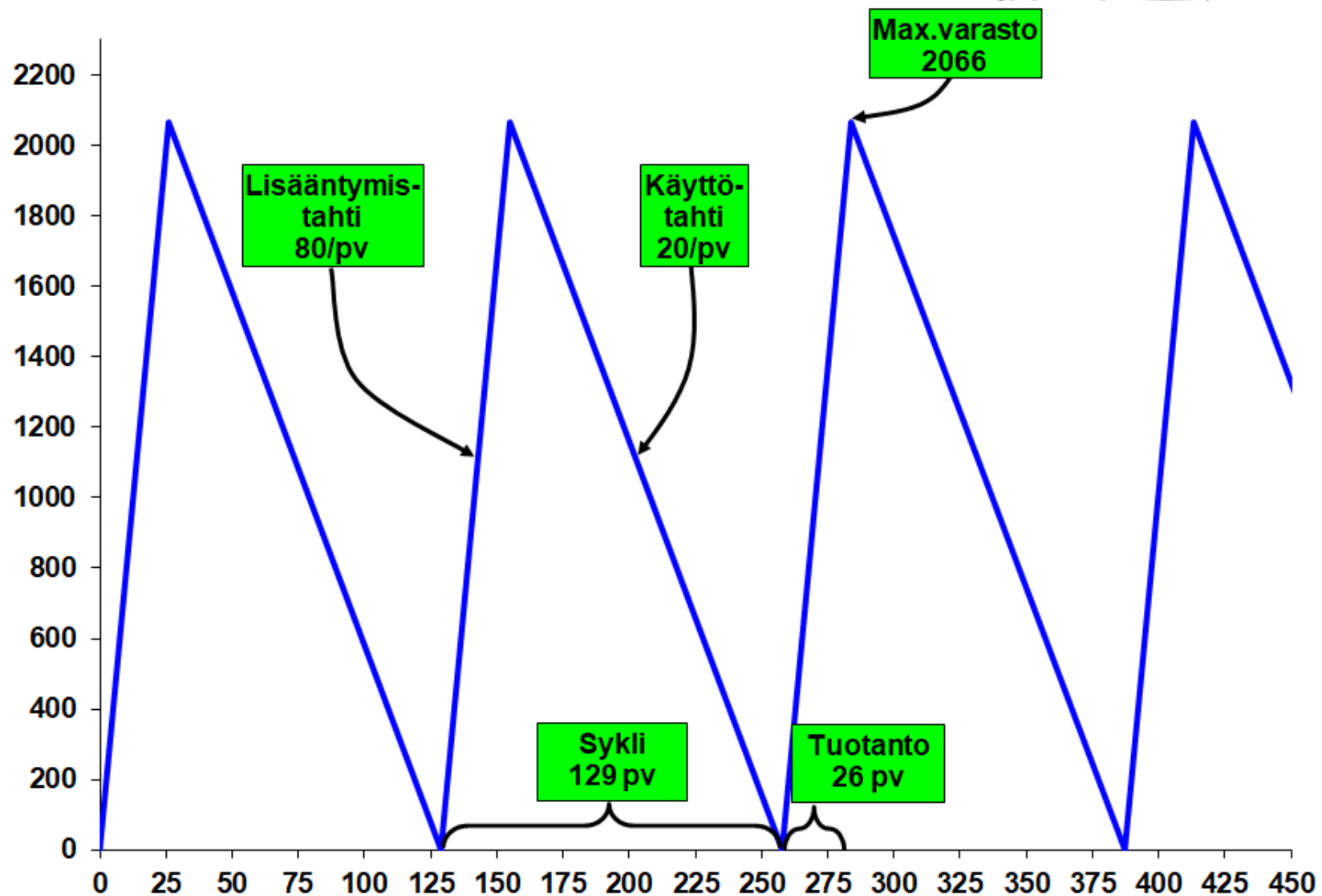
Tuotantoerän valmistusaika:

$$\frac{\text{ELS}}{p} = \frac{2582}{100} = 25,8 \text{ päivää}$$

Maksimaalinen varasto (tuotantoerän tuotannon lopussa):

$$Q * \left(\frac{p-d}{p} \right) = 2582 * \left(\frac{100-20}{100} \right) = 2066 \text{ kpl}$$

Hitaan täydennyksen lasku jatkuu



Tuotannosuunnittelulasku

Eräkkoko 100 kpl Varastossa 37 kpl	Viikko							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Myyntiennuste	50	50	75	75	50	50	75	75
<i>jo luvattu myynti</i>	42	29	51	40	15	56	1	0
Loppuvarasto	87	37	62	87	37	81	6	31
MPS määrä	100		100	100		100		100
MPS aloitus (2vk)	100	100		100		100		
Vapaana luvattavaksi	66		49	45		43		100

$$= 37 + 100 - 42 - 29$$

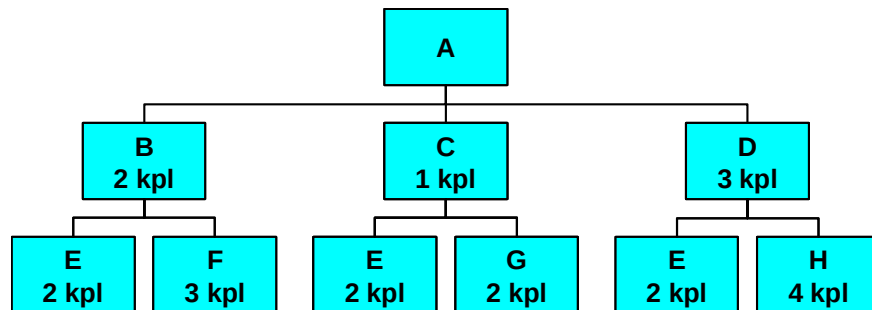
$$= 100 - 51$$

$$= 37 - \text{MAX}(50 \& 56) + 100$$

		Viikko							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Vapaana luvattavaksi		66		49	45		43		100
Tilaus #1	OK			-5/44	-45/0				
Tilaus #2	OK	-26/40		-44/0					
Tilaus #3	OK						-30/13		
Tilaus #4	EI	40 < 50							

Muista varastointimahdollisuus

Tuoterakennelasku



Tuotteen ja komponenttien keskeiset varastohallintatiedot

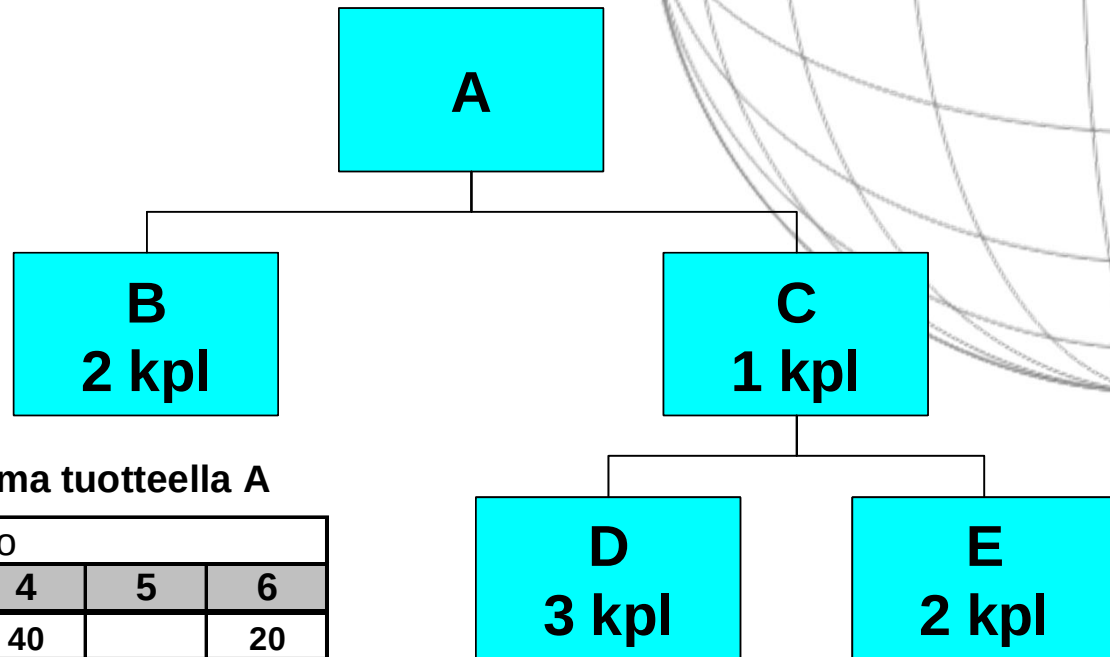
Varastossa (kpl)
Valmistus-/toimitusaika

A	B	C	D	E	F	G	H
0	10	10	25	12	30	5	0
1	2	3	3	1	2	1	2

- 1) $2(B) * 2 + 1(C) * 2 + 3(D) * 2 = 12 \text{ kpl}$
- 2) $1B \leftrightarrow 3F$ eli $20B \leftrightarrow 60F$, varastossa vain 30 kpl (eli 10B:n tarve)
- 3) A:n tekeminen vie yhden viikon, eli tarvittavat B, C ja D pitäisi olla varastossa. $10A \leftrightarrow 20B \text{ \& } 10C \text{ \& } 30D$ (B:tä ja D:tä varastossa liian vähän)
- 4) $15A \leftrightarrow 15C$ - varastossa 10 kpl, $5C \leftrightarrow 10G$ - varastossa 5 kpl, eli G:tä tarvitaan lisää juuri väitetty 5 kpl
- 5) $1(A) + 3(D) + 2(H) = \text{vain 6 viikkoa}$

MRP lasku

Tuote- rakennepuu



Tuotantosunnitelma tuotteella A

Viikko					
1	2	3	4	5	6
	35		40		20

Varastotiedot tarvittaville osille ja komponenteille

	B	C	D	E
Varastossa	30	10	95	40
Minimivarmuusvarasto	10	-	-	20
Sovitut toimitukset	50 kpl vk.1	-	-	90 kpl vk.2
Eräkokosäntö	FOQ=50	L4L	POQ (P=3)	L4L
Valmistus-/toimitusaika	3	1	2	2

MRP lasku

A	1	2	3	4	5	6
		35		40		20

eli 50, 100, 150...

B - FOQ=50	1	2	3	4	5	6
		70		80		40
hidasta - 1vk	50					
(10)	30	80	10	10	30	30
				80		20
				100		50
(3 vk)	100		50			

C - L4L	1	2	3	4	5	6
		35		40		20
	10	10	0	0	0	0
		25		40		20
		25		40		20
(1 vk)	25		40		20	

B:n ja C:n emo (parent) on A, joten niiden kokonais-tarpeet (ylimmät rivit) lasketaan A:n ajallisen ja määrällisen tarpeen (alimman rivin) pohjalta!

MRP lasku jatkuu

C - L4L	1	2	3	4	5	6
(1 vk)	25		40		20	

eli tarvittaessa aina kolmen jakson tarve kerralla

D - POQ (P=3)	1	2	3	4	5	6
95 (2 vk)	75		120		60	
	20	20	60	60	0	0
			100			
			160			
	160					

E - L4L	1	2	3	4	5	6
kiirehdi - 1vk (20) (2 vk)	50		80		40	
		90				
	40	-10	80	20	20	20
			20		40	
			20		40	
	20		40			

D:n ja E:n emo (parent) on C, joten niiden kokonais-tarpeet (ylimmät rivit) lasketaan C:n ajallisen ja määrällisen tarpeen (alimman rivin) pohjalta!

Töidenjärjestelylasku

↙ *odotus+käsittely*

SPT	Ajoitus	Työstöaika	Deadline	Myöhässä
Hallinto (1)	0-1	$0+1=1$	3	0
Markkinointi (4)	1-5	$1+4=5$	18	0
Rahoitus (5)	5-10	$5+5=10$	10	0
Logistiikka (10)	10-20	$10+10=20$	13	7

Ka.työstöaika

9,0

$= (1+5+10+20)/4$

Makespan

20

Max

7

Ka.

1,75

Kpl

1

Osuus

25 %

ka.käsittelyaika (5,0) ≠ ka.työstöaika (9,0)

EDD

Hallinto (3)
Rahoitus (10)
Logistiikka (13)
Markkinointi (18)

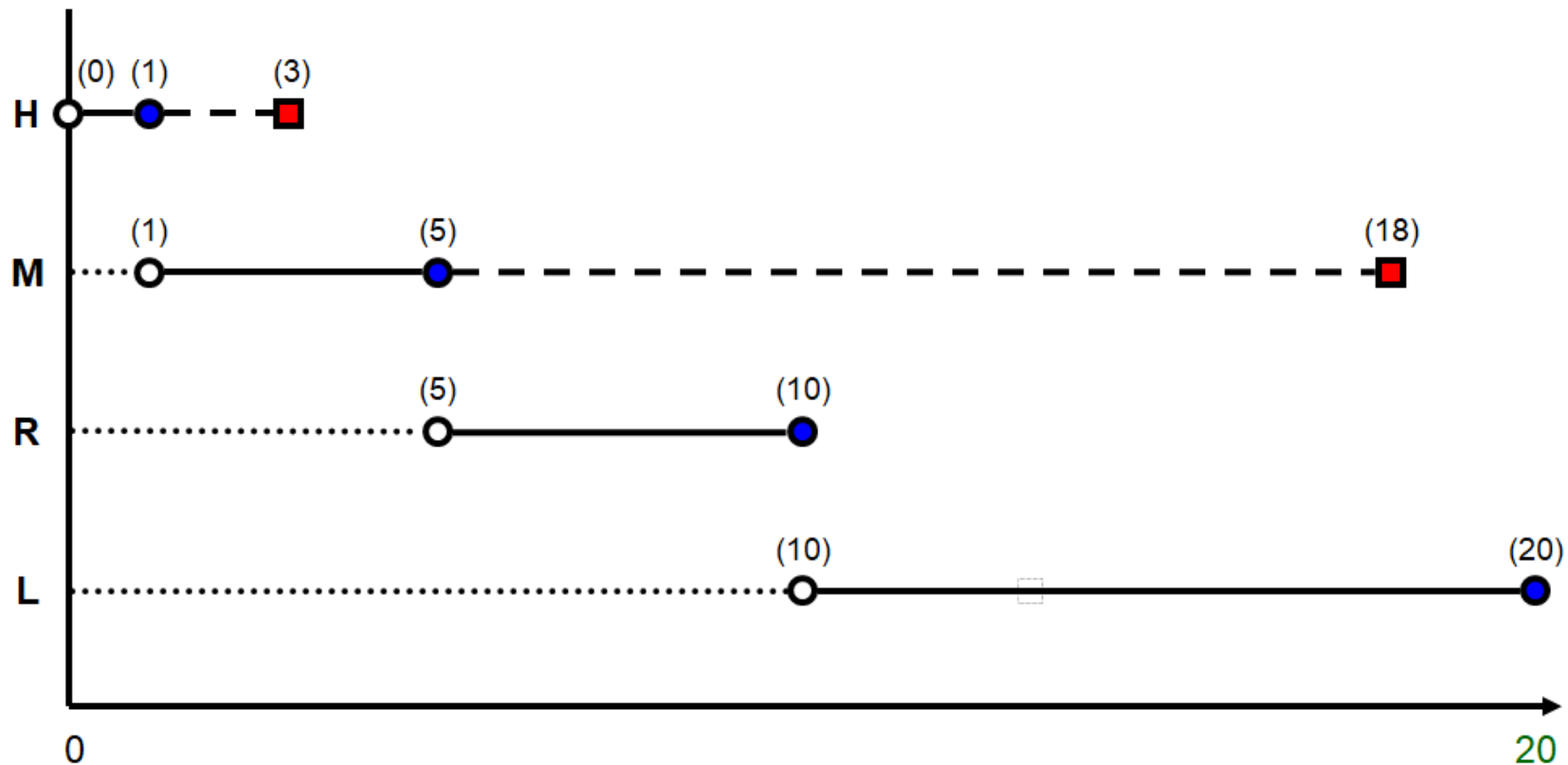
CR

Logistiikka ($13/10=1,3$)
Rahoitus ($10/5=2,0$)
Hallinto ($3/1=3,0$)
Markkinointi ($18/4=4,5$)

Töidenjärjestelylasku jatkuu

työstäajat → $I_{WIP} = \frac{1 + 5 + 10 + 20}{20} = 1,80$ $I_{TOTAL} = \frac{3 + 18 + 10 + 20}{20} = 2,55$

makespan → 20



Kahden koneen töidenjärjestelylasku

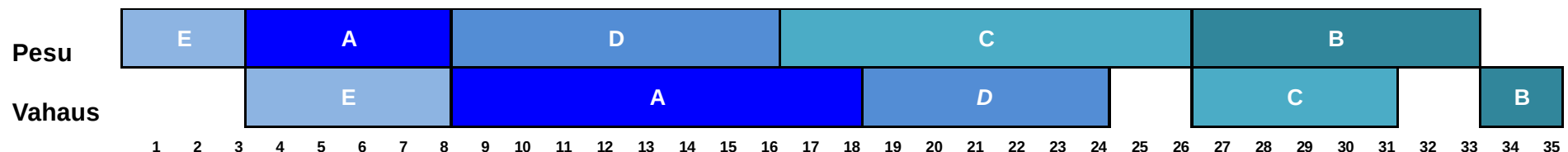
Johnsonin algoritmi -järjestys (minimoi makespanin)

Työ	Pesu	Vahaus
E	3	5
A	5	10
D	8	6
C	10	5
B	7	2

Koneiden käyttö

Työ	Pesu - alku	Pesu - loppu	Vahaus - alku	Vahaus - loppu
E	0	3	3	8
A	3	8	8	18
D	8	16	18	24
C	16	26	26	31
B	26	33	33	35

Vahaus voidaan aloittaa vasta kun auto on pesty loppuun ja vahausporukka on vapaana



Työvuorotaulukkolasku

Päivä	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai	Lauantai	Sunnuntai	
Kokonaistarve	1	5	3	6	2	1	4	22
Työntekijä 1 <i>Tarve vielä</i>		X	X	X				Ti-To
	1	4	2	5	2	1	4	
Työntekijä 2 <i>Tarve vielä</i>		X	X	X				Ti-To
	1	3	1	4	2	1	4	
Työntekijä 3 <i>Tarve vielä</i>		X	X	X				Ti-To
	1	2	0	3	2	1	4	
Työntekijä 4 <i>Tarve vielä</i>					X	X	X	Pe-Su
	1	2	0	3	1	0	3	
Työntekijä 5 <i>Tarve vielä</i>	X	X					X	Su-Ti
	0	1	0	3	1	0	2	
Työntekijä 6 <i>Tarve vielä</i>				X	X	X		To-La
	0	1	0	2	0	0	2	
Työntekijä 7 <i>Tarve vielä</i>	X	X					X	Su-Ti
	0	0	0	2	0	0	1	
Työntekijä 8 <i>Tarve vielä</i>			X	X	X			Ke-Pe
	0	0	0	1	0	0	1	
Työntekijä 9 <i>Tarve vielä</i>		X	X	X				Ti-To
	0	0	0	0	0	0	1	
Työntekijä 10 <i>Tarve vielä</i>					X	X	X	Pe-Su
	0	0	0	0	0	0	0	
Yhteensä	2	6	5	6	4	3	4	30
Ylimääräisiä	1	1	2	0	2	2	0	8

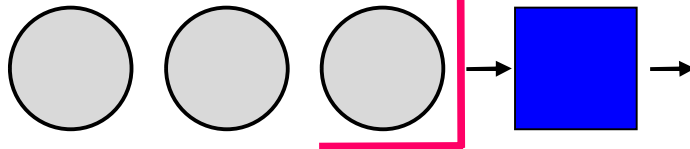
M/M/1 lasku

*Lähtöarvot
kpl per
aikayksikkö!*

"Ennen"

$$\lambda = 60/40 = 1,5/t$$

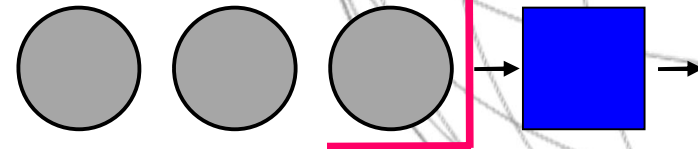
$$\mu = 3/t$$



"Nyt"

$$\lambda = 60/25 = 2,4/t$$

$$\mu = 3/t$$



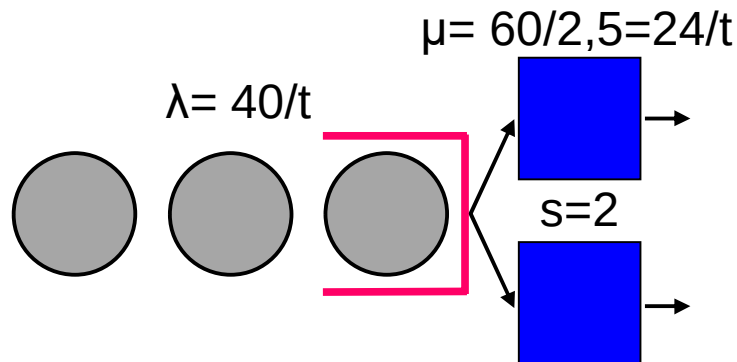
$$1) \mu = \frac{60 \text{ min}}{20 \text{ min}} = 3 \text{ per tunti}$$

$$2) W = \frac{1}{(\mu - \lambda)} = \frac{1}{(3 - 1,5)} = 0,667 \text{ t.} \Rightarrow 40 \text{ min.}$$

$$3) W_q = \rho W = \frac{\lambda}{\mu} * \frac{1}{(\mu - \lambda)} = \frac{2,4}{3} * \frac{1}{(3 - 2,4)} = 1,333 \text{ t.} \Rightarrow 80 \text{ min.}$$

$$4) L = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} = \frac{2,4}{(3 - 2,4)} = 4 \text{ asiakasta}$$

M/M/s lasku



$$1) \rho = \frac{\lambda}{s\mu} = \frac{40}{2 * 24} = 83,3\%$$

yksittäisen palvelijan tuottamistahti

$$2) L_q = \frac{P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \rho}{s! (1 - \rho)^2} = \frac{0,0909 * \left(\frac{40}{24}\right)^2 * 0,833}{2! (1 - 0,833)^2} = 3,79 \text{ kpl}$$

annettu kysymyksessä

potenssina "tapauskohtainen" s

vakio 2

$$3) W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{3,79}{40} = 0,0947 \text{ tuntia} = 5,68 \text{ min}$$

$$4) W = W_q + \frac{1}{\mu} = 0,0947 + \frac{1}{24} = 0,1364 \text{ tuntia} = 8,18 \text{ min}$$

$$5) L = \lambda W = 40 * 0,1364 = 5,45 \text{ kpl}$$

Äärellisen populan lasku

$$N=3 \quad \lambda = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ per tunti} \quad \mu = \frac{60}{18} = 3,333 \text{ per tunti}$$

yhden ihailijansaapumistiheys

Todennäköisyys joutenololle $P(0)$

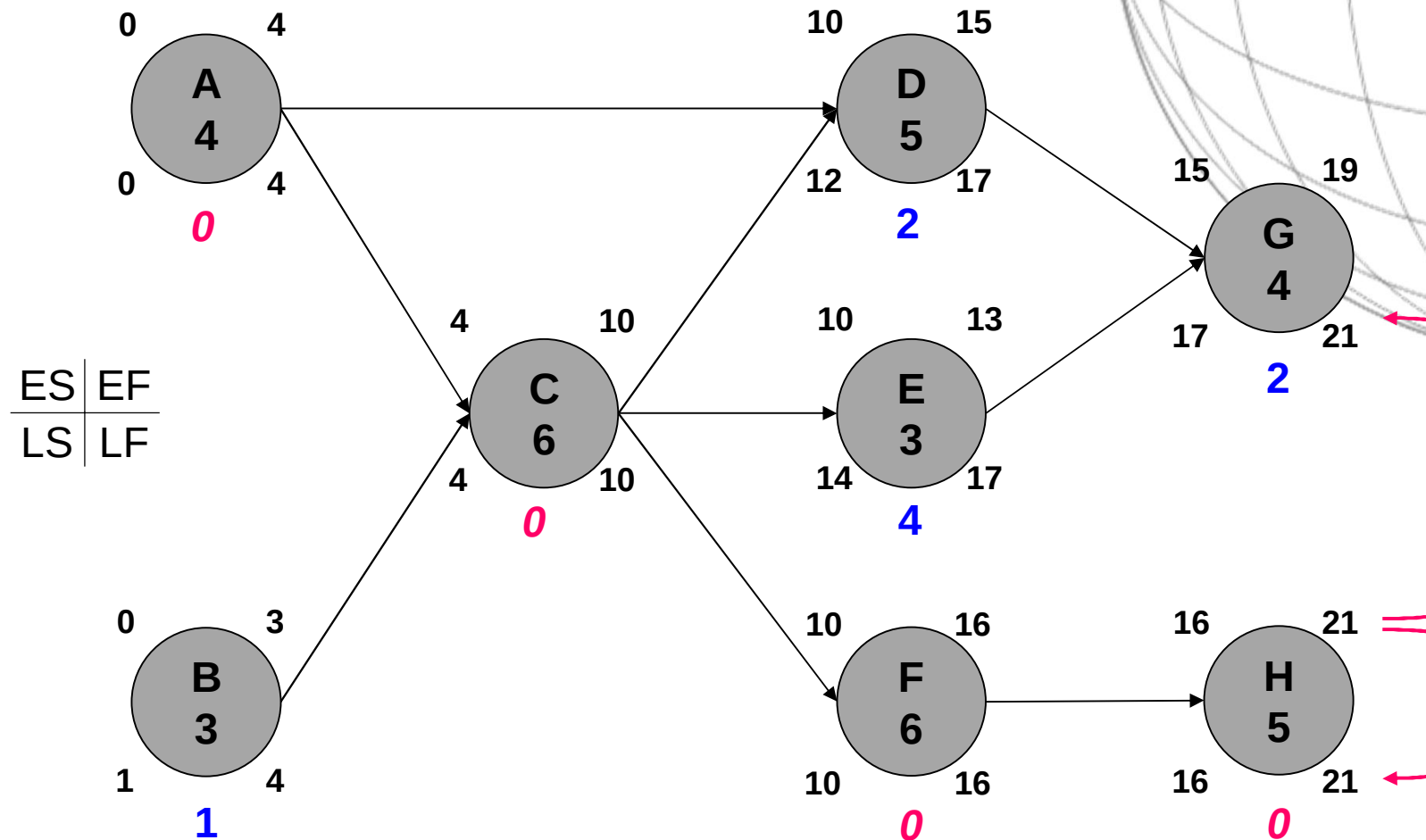
$$\left[\sum_{n=0}^N \frac{1}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$$

$$\left[\frac{1}{3!} \left(\frac{0,5}{3,333} \right)^0 + \frac{1}{2!} \left(\frac{0,5}{3,333} \right)^1 + \frac{1}{1!} \left(\frac{0,5}{3,333} \right)^2 + \frac{1}{0!} \left(\frac{0,5}{3,333} \right)^3 \right]^{-1}$$

Keskimääräinen jonon pituus L_q

$$= \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - \frac{\lambda}{\mu} \right) = \frac{0,5}{3,333} \left(1 - \frac{0,5}{3,333} \right)$$

Kriittinen polku lasku



Tarkkana erityisesti vaiheiden latest-aikojen laskemisessa

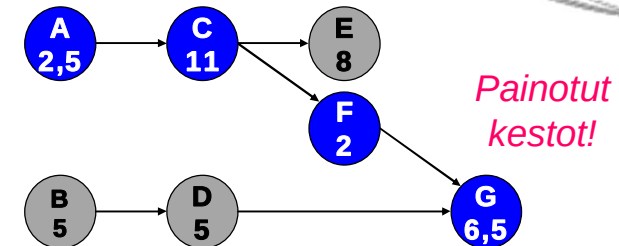
PERT lasku

t_e *Muista kaavat* σ^2

$$t_e = (a + 4m + b) / 6$$

$$\sigma^2 = ((b - a) / 6)^2$$

Aktiviteetti	Edeltävä vaihe	Optimistinen kesto (a)	Todennäköinen kesto (m)	Pessimistinen kesto (b)	Painotettu kesto	Aktiviteetin varianssi
A	-	1	2	6	2,50	0,694
B	-	3	4	11	5,00	
C	A	5	12	13	11,00	1,778
D	B	4	5	6	5,00	
E	C	2	9	10	8,00	
F	C	2	2	2	2,00	0,000
G	D,F	4	6	11	6,50	1,361



Painotut kestot!

Kriittinen polku A-C-F-G ja kesto 22 ($=2,5+11+2+6,5=T_E$)

Kriittisen polun aktiviteettien varianssien summa 3,833 ($=0,694+1,778+0+1,361$)

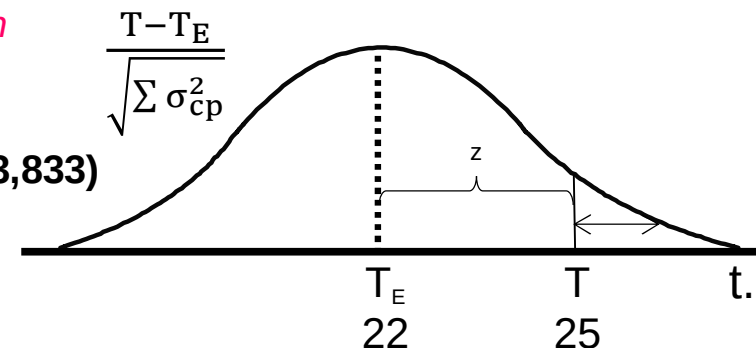
projektin keston keskihajonta on kriittisen polun aktiviteettien varianssien summan neliöjuuri eli 1,96 ($=\text{SQRT}(3,833)$)

Muista, että vain kriittisen polun vaiheiden varianssit huomioidaan

Todennäköisyys, että projekti kestää yli 25 päivää?

Normaalijakauman z-arvo	1,53	$= (25-22) / \text{SQRT}(3,833)$
Todennäköisyys	6,3 %	

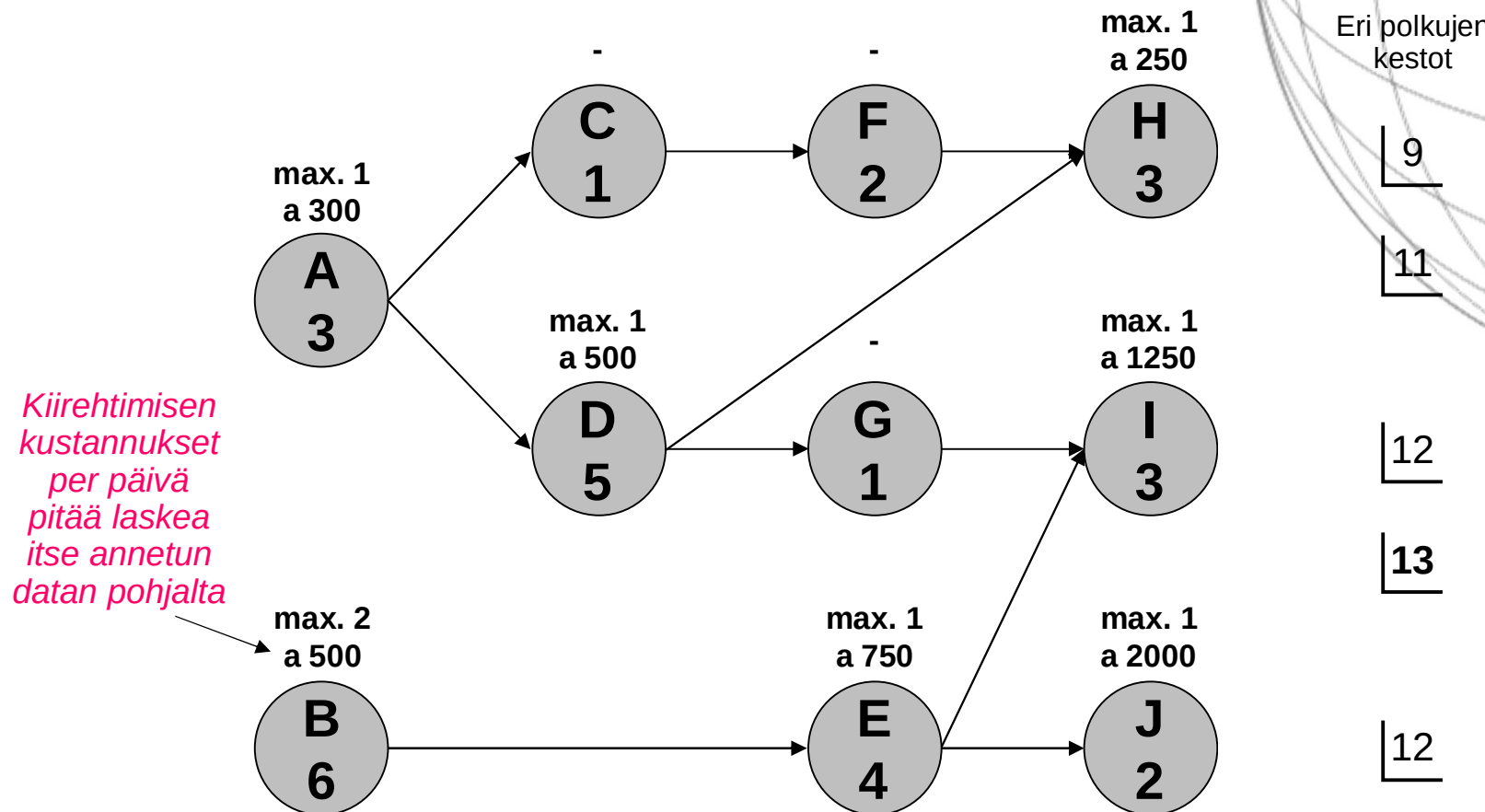
Huomioi vastatessa kysytäänkö yli vai alle jonkun keston J



Tentin lopusta löytyy kertymäfunktio- taulukko

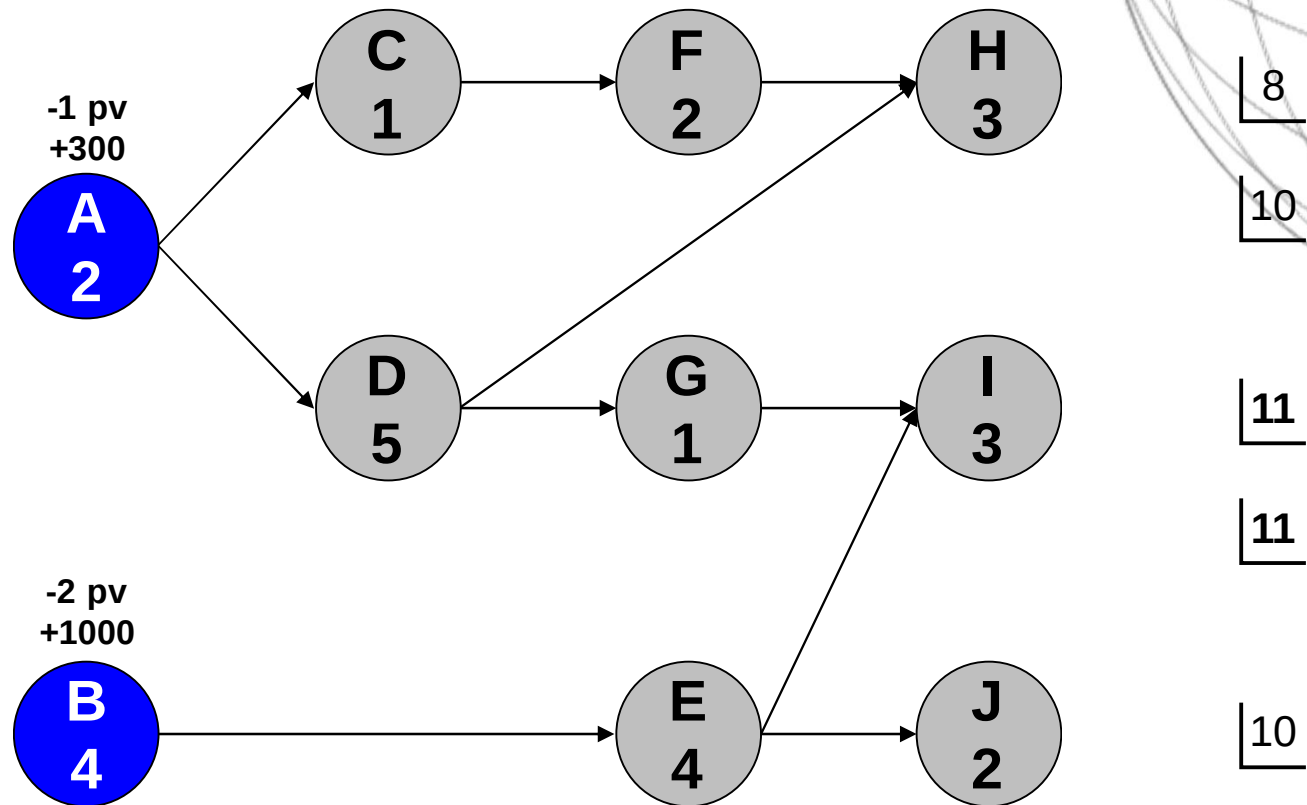
z	+0,00	+0,01	+0,02	+0,03	+0,04	+0,05	+0,06	+0,07	+0,08	+0,09
0,0	50,00 %	50,40 %	50,80 %	51,20 %	51,60 %	51,99 %	52,39 %	52,79 %	53,19 %	53,59 %
0,1	53,98 %	54,38 %	54,78 %	55,17 %	55,57 %	55,96 %	56,36 %	56,75 %	57,14 %	57,53 %
0,2	57,93 %	58,32 %	58,71 %	59,10 %	59,48 %	59,87 %	60,26 %	60,64 %	61,03 %	61,41 %
0,3	61,79 %	62,17 %	62,55 %	62,93 %	63,31 %	63,68 %	64,06 %	64,43 %	64,80 %	65,17 %
0,4	65,54 %	65,91 %	66,28 %	66,64 %	67,00 %	67,36 %	67,72 %	68,08 %	68,44 %	68,79 %
0,5	69,15 %	69,50 %	69,85 %	70,19 %	70,54 %	70,88 %	71,23 %	71,57 %	71,90 %	72,24 %
0,6	72,57 %	72,91 %	73,24 %	73,57 %	73,89 %	74,22 %	74,54 %	74,86 %	75,17 %	75,49 %
0,7	75,80 %	76,11 %	76,42 %	76,73 %	77,04 %	77,34 %	77,64 %	77,94 %	78,23 %	78,52 %
0,8	78,81 %	79,10 %	79,39 %	79,67 %	79,95 %	80,23 %	80,51 %	80,78 %	81,06 %	81,33 %
0,9	81,59 %	81,86 %	82,12 %	82,38 %	82,64 %	82,89 %	83,15 %	83,40 %	83,65 %	83,89 %
1,0	84,13 %	84,38 %	84,61 %	84,85 %	85,08 %	85,31 %	85,54 %	85,77 %	85,99 %	86,21 %
1,1	86,43 %	86,65 %	86,86 %	87,08 %	87,29 %	87,49 %	87,70 %	87,90 %	88,10 %	88,30 %
1,2	88,49 %	88,69 %	88,88 %	89,07 %	89,25 %	89,44 %	89,62 %	89,80 %	89,97 %	90,15 %
1,3	90,32 %	90,49 %	90,66 %	90,82 %	90,99 %	91,15 %	91,31 %	91,47 %	91,62 %	91,77 %
1,4	91,92 %	92,07 %	92,22 %	92,36 %	92,51 %	92,65 %	92,79 %	92,92 %	93,06 %	93,19 %
1,5	93,32 %	93,45 %	93,57 %	93,70 %	93,82 %	93,94 %	94,06 %	94,18 %	94,29 %	94,41 %
1,6	94,52 %	94,63 %	94,74 %	94,84 %	94,95 %	95,05 %	95,15 %	95,25 %	95,35 %	95,45 %
1,7	95,54 %	95,64 %	95,73 %	95,82 %	95,91 %	95,99 %	96,08 %	96,16 %	96,25 %	96,33 %
1,8	96,41 %	96,49 %	96,56 %	96,64 %	96,71 %	96,78 %	96,86 %	96,93 %	96,99 %	97,06 %
1,9	97,13 %	97,19 %	97,26 %	97,32 %	97,38 %	97,44 %	97,50 %	97,56 %	97,61 %	97,67 %
2,0	97,72 %	97,78 %	97,83 %	97,88 %	97,93 %	97,98 %	98,03 %	98,08 %	98,12 %	98,17 %
2,1	98,21 %	98,26 %	98,30 %	98,34 %	98,38 %	98,42 %	98,46 %	98,50 %	98,54 %	98,57 %
2,2	98,61 %	98,64 %	98,68 %	98,71 %	98,75 %	98,78 %	98,81 %	98,84 %	98,87 %	98,90 %
2,3	98,93 %	98,96 %	98,98 %	99,01 %	99,04 %	99,06 %	99,09 %	99,11 %	99,13 %	99,16 %
2,4	99,18 %	99,20 %	99,22 %	99,25 %	99,27 %	99,29 %	99,31 %	99,32 %	99,34 %	99,36 %
2,5	99,38 %	99,40 %	99,41 %	99,43 %	99,45 %	99,46 %	99,48 %	99,49 %	99,51 %	99,52 %
2,6	99,53 %	99,55 %	99,56 %	99,57 %	99,59 %	99,60 %	99,61 %	99,62 %	99,63 %	99,64 %
2,7	99,65 %	99,66 %	99,67 %	99,68 %	99,69 %	99,70 %	99,71 %	99,72 %	99,73 %	99,74 %
2,8	99,74 %	99,75 %	99,76 %	99,77 %	99,77 %	99,78 %	99,79 %	99,79 %	99,80 %	99,81 %
2,9	99,81 %	99,82 %	99,82 %	99,83 %	99,84 %	99,84 %	99,85 %	99,85 %	99,86 %	99,86 %
3,0	99,87 %	99,87 %	99,87 %	99,88 %	99,88 %	99,89 %	99,89 %	99,89 %	99,90 %	99,90 %
3,1	99,90 %	99,91 %	99,91 %	99,91 %	99,92 %	99,92 %	99,92 %	99,92 %	99,93 %	99,93 %
3,2	99,93 %	99,93 %	99,94 %	99,94 %	99,94 %	99,94 %	99,94 %	99,95 %	99,95 %	99,95 %
3,3	99,95 %	99,95 %	99,95 %	99,96 %	99,96 %	99,96 %	99,96 %	99,96 %	99,96 %	99,97 %
3,4	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,97 %	99,98 %
3,5	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %	99,98 %

Kiirehtimislasku



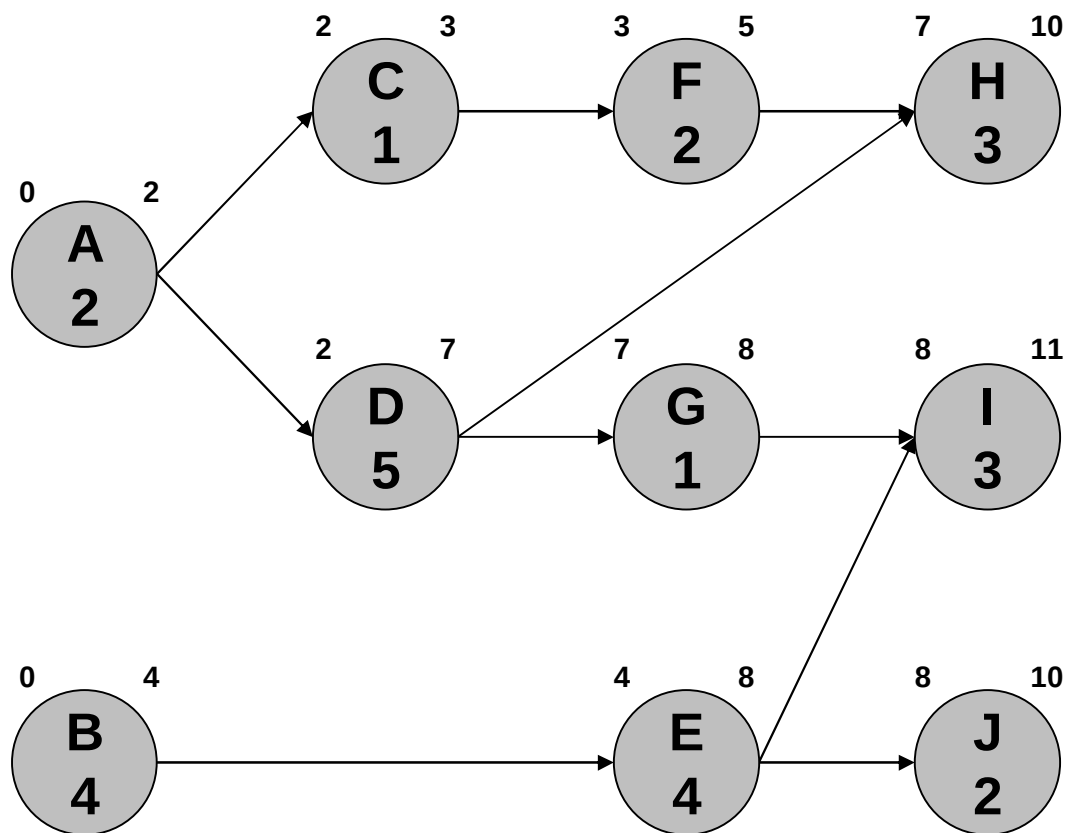
Projektin kesto nyt 13 päivää (kriittinen polku B-E-I), joten tavoitekesto on siis 11 päivää.
Useampi ketju on tällä hetkellä yli tavoitteen, joten ne kaikki vaativat kiirehtimistä.

Kiirehtimislasku jatkuu



*Halvin ratkaisu on kiirehtiä yksi päivä A:ta ja kaksi päivää B:tä.
Minimilisäkustannus kiirehtimisestä on siis 1300.*

Kiirehtimislasku jatkuu



Lopuksi kannattaa vielä tarkistaa projektin kiirehditty kesto laskemalla earliest-ajat J

Valmista vai osto lasku

Kustannukset: $TC_{\text{vanha}} = 10 * X$

$$TC_{\text{uusi}} = 10 * 100 + 9 * (X - 100)$$

$$TC_{\text{itse}} = 4000 + 8 * X$$

Break-evens: $TC_{\text{vanha}} = TC_{\text{uusi}}$

$$10 * X = 10 * 100 + 9 * (X - 100)$$

$$X = 100 \text{ kpl}$$

$$TC_{\text{uusi}} = TC_{\text{itse}}$$

$$10 * 100 + 9 * (X - 100) = 4000 + 8 * X$$

$$X = 3900 \text{ kpl}$$