**Käyttövarmuuden ja kunnossapidon perusteet, KSU-4310: Tentti ma 14.1.2008**

Huom. Vastaus vain viiteen kysymykseen. Funktio- ja/tai ohjelmoitavan laskimen, muistiinpanojen, luentomonisteiden ja kirjallisuuden käyttö tenttitilaisuudessa on sallittu.

Tehtävä 1:

Laitteen vikataajuusfunktio $r(t)=\frac{\beta}{t}\cdot\left(\frac{t}{\sigma}\right)^{\beta}$ (rate of occurence of failures) ja korjausajan kertymäfunktio $G(t)=1-e^{-\mu\cdot t}$. Jakaumien parametrit $\beta$ = 3, $\sigma$ = 100 ja $\mu$ = 0.25. Lisäksi tiedetään, että korjauksiin liittyvän viiveen keskiarvo MLDT = 2 h ja sen todennäköisyys P = 0.9. Laske keskimääräinen käytettävyys ja vikojen lukumäärä aikaväleillä: 0…50, 50…100, 100…150, 0…150. Piirrä myös paperille funktioiden I(t) ( =vikojen lukumäärä keskimäärin hetkeen t mennessä) ja A(t) (=hetkellinen käytettävyys) kuvaajat.

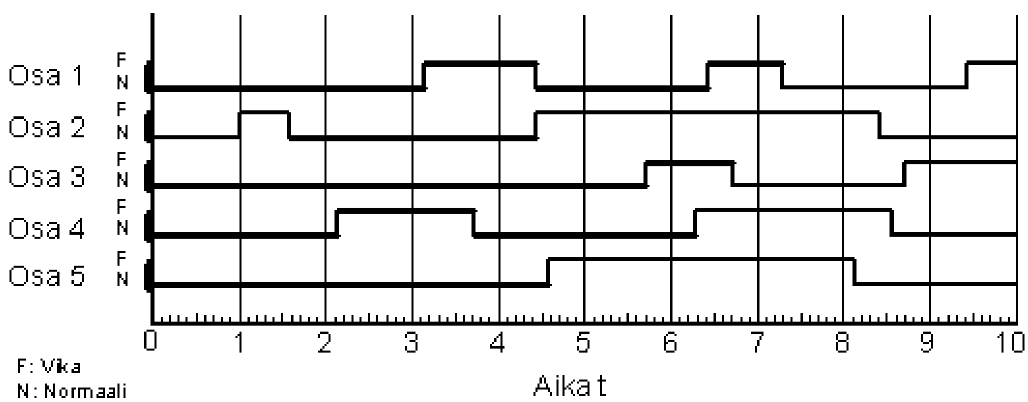
Tehtävä 2:

Tutkitaan erään korjattavan osatyypin vioittumista ja korjausta. Hetkellä t = 0 on otettu käyttöön viisi samanalaista osaa ja ne ovat olleet käytössä ja korjauksessa oheisen kuvan mukaisesti. Seuranta on lopetettu hetkellä t = 10. Vikaantumisajan ja korjausajan malleina käytetään vakio-vikataajuus- ja vakio-korjaustaajuusmalleja.

a) Määritä tutkittavalle osalle MTTF ja MTTR.

b) Laske osan käytettävyys hetkellä t = 2.5 aikayksikköä ja epäkäytettävyys hetkellä 3

c) Mikä on hasardifunktion arvo hetkellä t = 2?

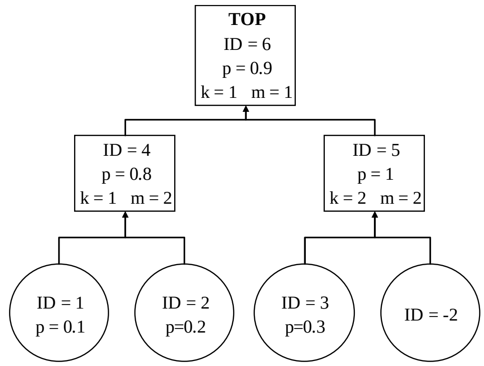



Tehtävä 3:

Tuotantolinjan laaduntuottokyky on 0.95 ja suorituskyky on 0.99. Linjan käytettävyys on tasan jakautunut välille [0.95,0.99]. Millä todennäköisyydellä tuotantolinjan OEE > 0.9?

Tehtävä 4:

Laadi vikalogiikkamatriisi oheisesta vikapuusta. Laske myös TOP-tapahtuman todennäköisyys.

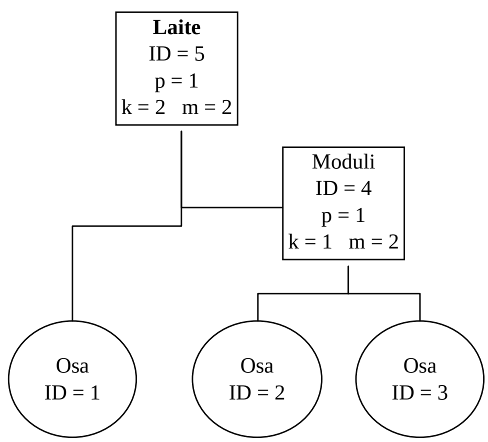



Tehtävä 5:

Prosessissa on kolme identistä osaa (1, 2 ja 3), joista kaksi osaa (1 ja 2) on toiminnallisesti kytketty niin, että niiden molempien pitää vikaantua ennen kuin niiden tilalle voidaan vaihtaa varastosta haetut uudet osat. Kolmannen osan (3) vikaantuessa voidaan sen tilalle vaihtaa heti uusi osa varastosta. Osien kertymäfunktiot ovat

$F_1(t) = 1 - e^{-r_1 \cdot \lambda \cdot t}$ , $F_2(t) = 1 - e^{-r_2 \cdot \lambda \cdot t}$ *ja* $F_3(t) = 1 - e^{-r_3 \cdot \lambda \cdot t}$, missä osien rasituskertoimet ($r_i$) ovat $r_1 = 1.41$ $r_2 = 1.11$ $r_3 = 0.70$ ja $\lambda = 0.033$. Osan toimitusaika tilauksesta varastoon on 30. Laske osan tilauspiste kun varaston palveluasteen pitää olla vähintään 80 %.

Tehtävä 6: Laitteelle (ID 5) on johdettu asiakasvaatimuksista vikataajuus $\lambda = 0.01$ (vakio), jonka mukaisesti laite saa vikaantua keskimäärin kerran hetkeen t = 100 mennessä. Allokoinnissa käytettävät tärkeyskertoimet ovat: $x_1 = 0.57$, $x_2 = 0.3$, $x_3 = 0.7$, $x_4 = 0.43$ ja kompleksisuuskertoimet: $y_1 = 0.4$, $y_2 = 0.3$, $y_3 = 0.7$, $y_4 = 0.6$. Allokoi osille (1, 2 ja 3) vikojen lukumäärät keskimäärin hetkeen T = 100 mennessä.




===============================================================

Muutamia kaavoj seuraavalla sivulla:

$$F(t) = 1\text{-}R(t) = 1 - e^{-\int_0^t r(t)dt}, \quad I(t)=\int_0^t r(t)dt, \quad MTTF = \int_0^\infty R(t)dt$$

$$G(t) = \int_0^t g(t)dt, \quad MTTR = \int_0^\infty 1\text{-}G(t)dt$$

$$A(t)=(1+I'(t)\cdot(MTTR+P\cdot MLDT))^{-1}$$

$$A(T_1,T_2)=\left(1+(MTTR+P\cdot MLDT)\cdot\frac{I(T_2)\text{-}I(T_1)}{T_2\text{-}T_1}\right)^{-1}$$

$P(0 \le n \le X) = F(X) = \sum_{n=0}^{X} \frac{e^{-(T\cdot Q\cdot\lambda)}\cdot(T\cdot Q\cdot\lambda)^n}{n!}$, missä $T\cdot Q\cdot\lambda =$ vikojen lkm keskimäärin aikavälillä 0…T).

$F_i(t) = 1 - e^{-\alpha\cdot w_i\cdot I(t)}$ (allokointifunktio)

$F(t) = \prod_i F(t)_i$, rinnakkaiskytkentä (JA-portti)

$R(t)=\prod_i R(t)_i$, sarjaankytkentä (TAI-portti)

**Tehtävä 1** $t1 := 50$ $t2 := 100$ $t3 := 150$ $MLDT := 2$ $P := 0.9$

$\mu := 0.25$ $\beta := 3$ $\sigma := 100$ $G(t) := 1 - e^{-\mu \cdot t}$

**Korjausajan viive**

**Korjausajan kertymäfunktio**

$$r(t) := \left(\frac{t}{\sigma}\right)^{\beta} \cdot \frac{\beta}{t} \qquad I(t) := \left(\frac{t}{\sigma}\right)^{\beta}$$

r(t):n Integrointi

**Korjausajan keskiarvo** $MTTR := \frac{1}{\mu}$

**vikojen lkm ka hetkeen t mennessä**

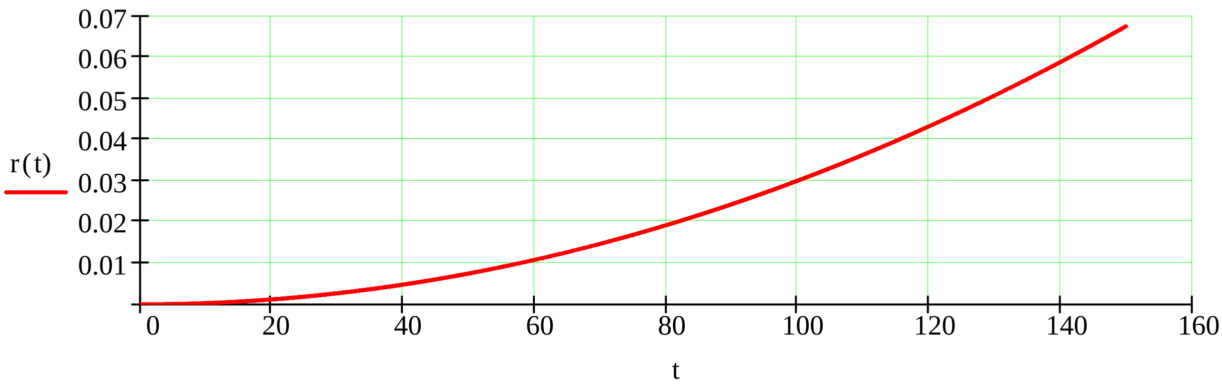
$$A(t) := [\,1 + (MTTR + P \cdot MLDT) \cdot r(t)\,]^{-1}$$

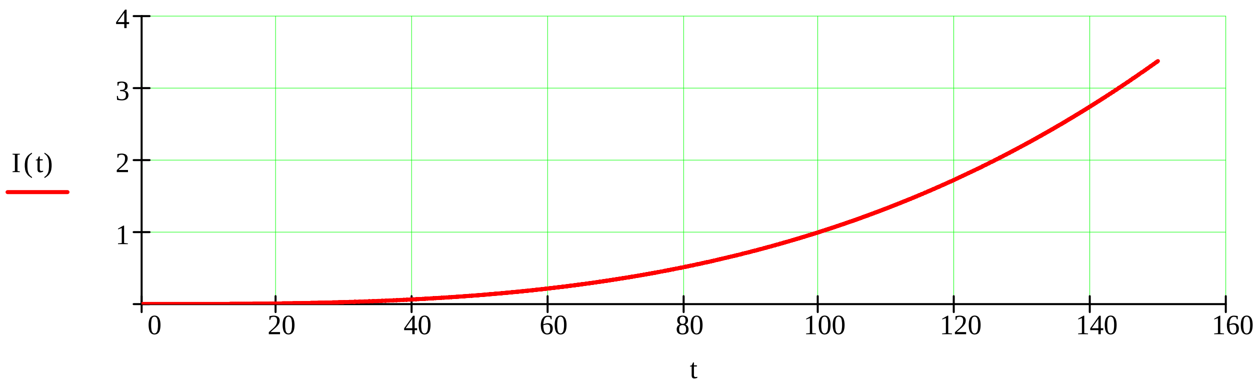
$$Av(T1, T2) := \left[1 + (MTTR + P \cdot MLDT) \cdot \left(\frac{I(T2) - I(T1)}{T2 - T1}\right)\right]^{-1}$$

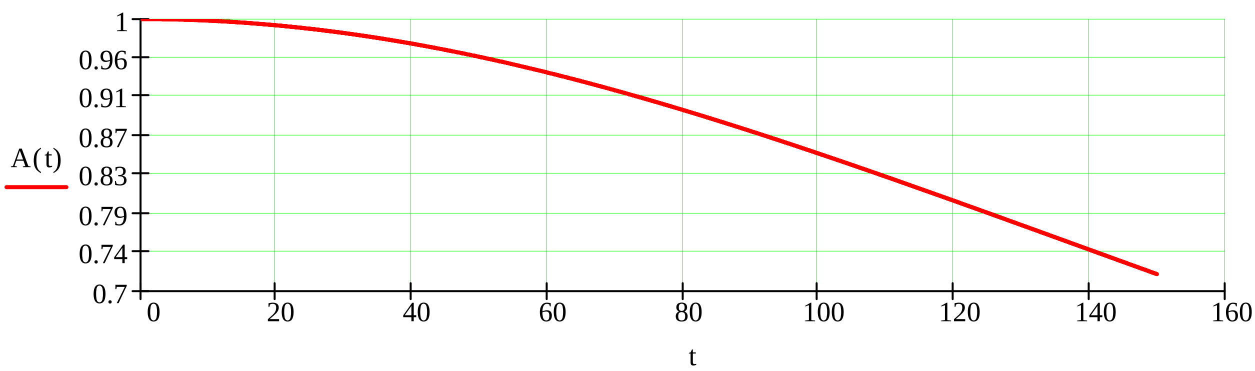
**Hetkellinen ja keskimääräinen käytettävyys, A ja Av**

$Av(0, t1) = 0.986$ $Av(t1, t2) = 0.908$ $Av(t2, t3) = 0.784$ $Av(0, t3) = 0.885$

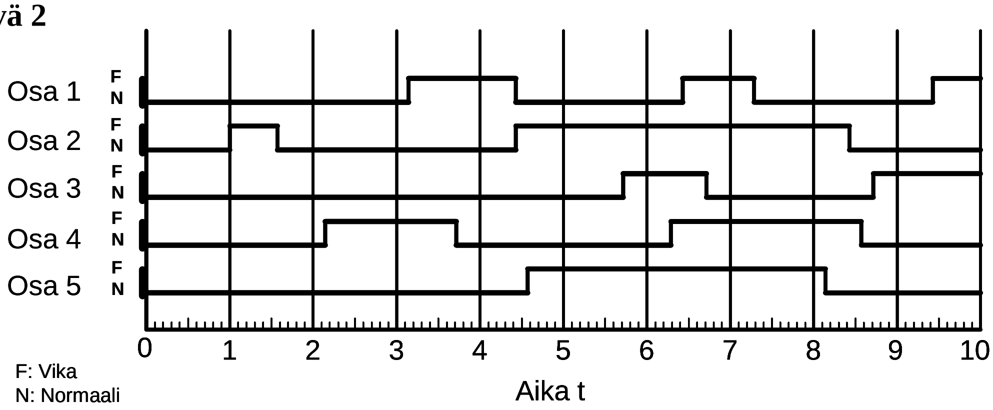
$I(t1) = 0.125$ $I(t2) - I(t1) = 0.875$ $I(t3) - I(t2) = 2.375$ $I(t3) = 3.375$



**Tehtävä 2**




Tutkitaan erään korjattavan osatyypin vioittumista ja korjausta. Hetkellä t = 0 on otettu käyttöön viisi samanalaista osaa ja ne ovat olleet käytössä ja korjauksessa oheisen kuvan mukaisesti. Seuranta on lopetettu hetkellä t = 10.

Vikaantumisajan ja korjausajan malleina käytetään vakio-vikataajuus- ja vakio-korjaustaajuusmalleja.

| | |
|---|---|
| a) Määritä tutkittavalle osalle MTTF ja MTTR. | a) 1 p. |
| b) Laske osan käytettävyys hetkellä t = 2.5 aikayksikköä ja epäkäytettävyys hetkellä 3 | b) 1 + 1 + 1 p. |
| c) Mikä on hasardifunktion arvo hetkellä t = 2?. | c) 1 p. |

*Ratkaisu: a) Tehtävässä 1 on laskettu vikaantumisajat ja korjausajat taulukkoon, jota voi tietenkin hyödyntää tässä.*

Kuvasta saadaan vika-ajoille t seuraava taulukko

Kuvasta saadaan korjausajoille k seuraava taulukko

$t := (3.1\ \ 1.9\ \ 2.1\ \ 1\ \ 2.8\ \ 5.7\ \ 2\ \ 2.1\ \ 2.6\ \ 4.6)^T$

$k := (1.4\ \ 0.9\ \ 0.6\ \ 3.9\ \ 1\ \ 1.6\ \ 2.3\ \ 3.5)^T$

a) $MTTF := \mathrm{mean}(t) \quad MTTF = 2.79$

$MTTR := \mathrm{mean}(k) \quad MTTR = 1.9$

b) Vakio-vikataajuusmalli ==> $\lambda := \frac{1}{MTTF} \qquad \lambda = 0.358$

Vakio-korjaustaajuusmalli ==> $\mu := \frac{1}{MTTR} \qquad \mu = 0.526$

Käytettävyys $A(t) := \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda+\mu)\cdot t} \qquad A(2.5) = 0.639$

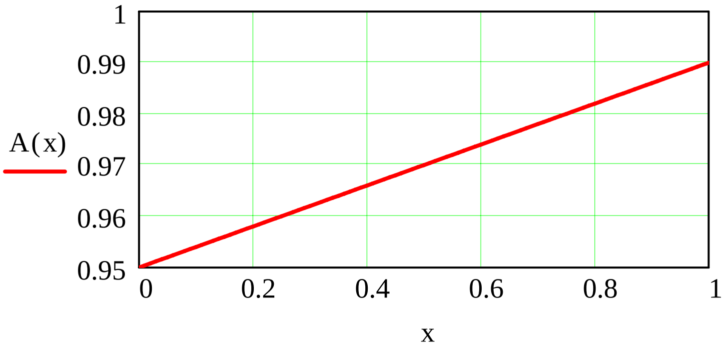
c) Vakio-vikataajuusmalli ==> Hasardifunktio h(t) (tai r(t)) = $\lambda$, kohdasta b) saadaan $\lambda = 0.358$

**Tehtävä 3** $Q := 0.95 \quad T := 0.99 \quad OEE := 0.9$

$$Av := \frac{OEE}{Q \cdot T} \qquad Av = 0.95694$$

A tasaisesti jakautunut välille 0.95..0.99 ==>

$$A(x) := 0.95 + \frac{0.99 - 0.95}{1} \cdot x \qquad x := 0, 0.01 .. 1$$



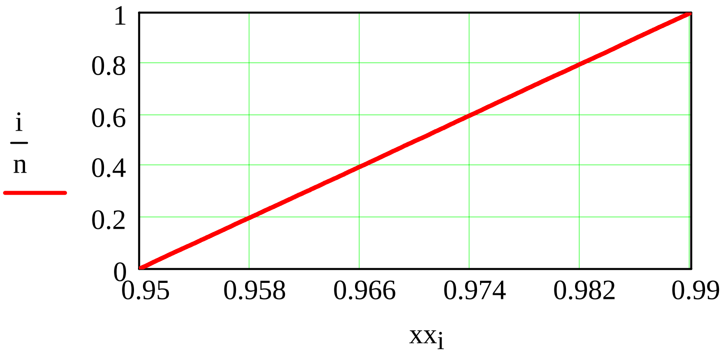

$$X := \frac{Av - 0.95}{0.99 - 0.95} \qquad X = 0.1734 \qquad \text{==>} \qquad p(A > Av) = 1 - X$$

$$1 - X = 0.8266$$ Tarkka!

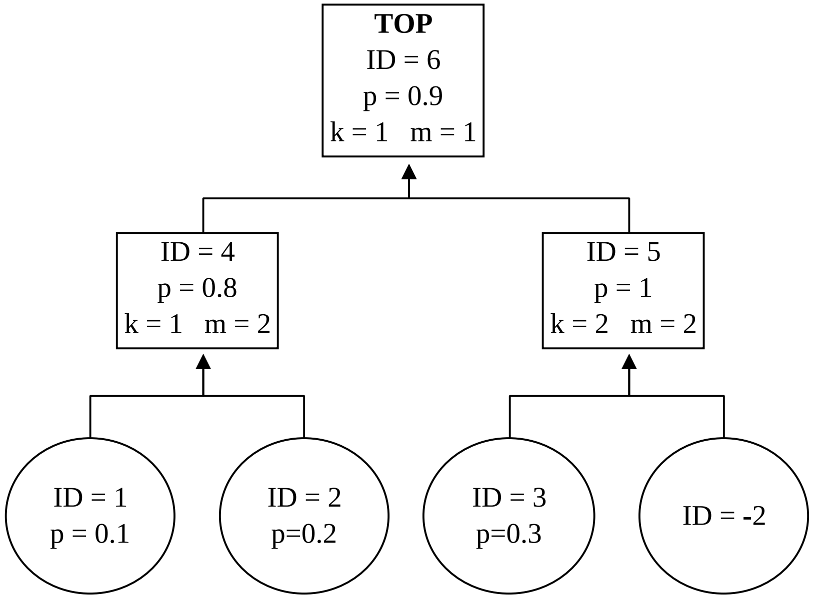
Lasketaan todennäköisyys simuloimalla

$$n := 100000 \quad i := 0 .. n - 1 \quad x_i := 0.95 + \frac{(0.99 - 0.95)}{1} \cdot \mathrm{rnd}(1)$$

$$xx := \mathrm{sort}(x) \qquad \frac{1}{n} \cdot \sum_i \left( x_i > \frac{OEE}{Q \cdot T} \right) = 0.8265$$



**Teht 4: Ratkaisu Boolean totuustaulukon avulla**




Vikalogiikkamatriisi

| Gate | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|
| a | 1 | 2 | 1 |
| b | 2 | 2 | 1 |
| p | 0.8 | 1 | 0.9 |
| ID | 1 | 3 | 4 |
| | 2 | -2 | 5 |

TOP:n todennäköisyys

| p(ID=1) | 0.1 | 0.2 | 0.8 | 0.3 | 1 | 0.9 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID** | **1** | **2** | **4** | **3** | **5** | **6** | **P(TOP=1)** |
| Kombinaatiot | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.04032 |
| | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.09072 |
| | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.03888 |
| | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.01008 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.00432 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.00432 |
| | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.1944 |
| | | | | | | Σ | **0.383040** |

**Tehtävä 4, ratkaisu rakennefunktion avulla**

$x1 := 0.1 \qquad x2 := 0.2 \qquad x3 := 0.3 \qquad g4 := 0.8 \quad g6 := 0.9$

**Lähtötiedot**

$x4 = (x1 + x2 - x1\cdot x2)\cdot g4 \qquad x5 = x3\cdot(1 - x2)$

**Porttien 4 ja 5 rakennefunktiot**

$x6 = [\, x4\cdot(1 - x5) + x5\cdot(1 - x4)\,]\cdot g6$

**Portin 6 rakennefunktio**

$x6 = [\, (x1 + x2 - x1\cdot x2)\cdot g4\cdot[\, 1 - x3\cdot(1 - x2)\,] + x3\cdot(1 - x2)\cdot[\, 1 - (x1 + x2 - x1\cdot x2)\cdot g4\,]\,]\cdot g6$

**Sijoitetaan portin 6 rekennefunktioon porttien 4 ja 5 lausekkeet**

**Kerrotaan x6-lauseke auki**

$$g6\cdot g4\cdot x1 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3 + 4\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3\cdot x2 + g6\cdot g4\cdot x2 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x3\cdot x2 + 2\cdot g6\cdot g4\cdot x3\cdot x2^2 - g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2^2\cdot x3 + g6\cdot x3 - g6\cdot x3\cdot x2$$

**tehdään Boolean sievennys $x^n = x$**

$$g6\cdot g4\cdot x1 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3 + 4\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3\cdot x2 + g6\cdot g4\cdot x2 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x3\cdot x2 + 2\cdot g6\cdot g4\cdot x3\cdot x2 - g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2\cdot x3 + g6\cdot x3 - g6\cdot x3\cdot x2$$

**ja yksinkertaistetaan lauseke, johon sijoitetaan lähtötiedot**

$$g6\cdot g4\cdot x1 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3 + 4\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3\cdot x2 + g6\cdot g4\cdot x2 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x3\cdot x2 + 2\cdot g6\cdot g4\cdot x3\cdot x2 - g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2\cdot x3 + g6\cdot x3 - g6\cdot x3\cdot x2$$

$$g6\cdot g4\cdot x1 - 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x3 + 2\cdot g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2\cdot x3 + g6\cdot g4\cdot x2 - g6\cdot g4\cdot x1\cdot x2 + g6\cdot x3 - g6\cdot x3\cdot x2 = 0.38304$$

## Tehtävä 5

Ja-portti

$$Fs(t) = F1(t) \cdot F2(t) = \left(1 - e^{-r_1 \cdot \lambda \cdot t}\right) \cdot \left(1 - e^{-r_2 \cdot \lambda \cdot t}\right) = 1 - e^{-Is(t)}$$

$r_1 := 1.41$ $\lambda := 0.033$
$r_2 := 1.11$ $T := 30$
$r_3 := 0.70$

$$Is(t) := -\ln\left[1 - \left(1 - e^{-r_1 \cdot \lambda \cdot t}\right) \cdot \left(1 - e^{-r_2 \cdot \lambda \cdot t}\right)\right]$$

$I_1(t) := r_1 \cdot \lambda \cdot t$ $I_2(t) := r_2 \cdot \lambda \cdot t$

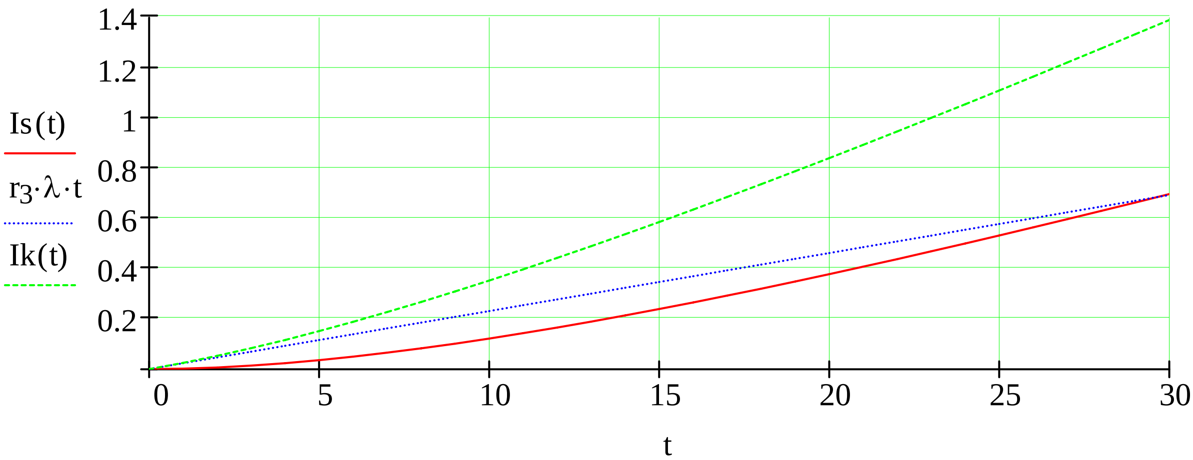
Huom. $I_1(T) = 1.396$ ja $I_2(T) = 1.099$ $I_3(t) := r_3 \cdot \lambda \cdot t$

$Is(T) = 0.7$

Osien kulutus T:n aikana

$I_3(T) = 0.7$

$Ik(t) := Is(t) + I_3(t)$ $Ik(T) = 1.4$




todennäköisyys, että osan toimituksen aikana tullaan varastosta hakemaan osia enintään k kertaa, on

$$P(k,T) := \sum_{n=0}^{k} \frac{Ik(T)^n}{n!} \cdot e^{-Ik(T)}$$

$P(0,T) = 0.249$ $P(1,T) = 0.595$ $P(2,T) = 0.836$

Koska jokaisella hakukerralla otetaan 3 kerrallaa => tilauspiste $2 \cdot 3 = 6$

## Teht. 6.

$T := 100$ $\lambda := 0.01$ $MTTF := \frac{1}{\lambda}$ $MTTF = 100$

$x_1 := 0.57$ $x_2 := 0.3$ $x_3 := 0.7$ $x_4 := 0.43$ $y_1 := 0.4$ $y_2 := 0.3$ $y_3 := 0.7$ $y_4 := 0.6$

$F(t) := 1 - e^{-(\lambda \cdot t)}$ $I(t) := \lambda \cdot t$ $I(T) = 1$ $F(T) = 0.632$

$$w_1 := \frac{\frac{y_1}{x_1}}{\frac{y_1}{x_1} + \frac{y_4}{x_4}} \qquad w_4 := \frac{\frac{y_4}{x_4}}{\frac{y_1}{x_1} + \frac{y_4}{x_4}} \qquad w_2 := \frac{\frac{y_2}{x_2}}{\frac{y_2}{x_2} + \frac{y_3}{x_3}} \qquad w_3 := \frac{\frac{y_3}{x_3}}{\frac{y_2}{x_2} + \frac{y_3}{x_3}}$$

$w_1 = 0.335$ $w_4 = 0.665$ $w_2 = 0.5$ $w_3 = 0.5$

$I_1 := w_1 \cdot I(T)$ $I_1 = 0.335$ $I_4 := w_4 \cdot I(T)$ $I_4 = 0.665$

$$F(t) = F1(t) \cdot F4(t) = \left(1 - e^{-\alpha \cdot w1 \cdot \lambda \cdot t}\right) \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot \lambda \cdot w4 \cdot t}\right) = 1 - e^{-I(t)}$$

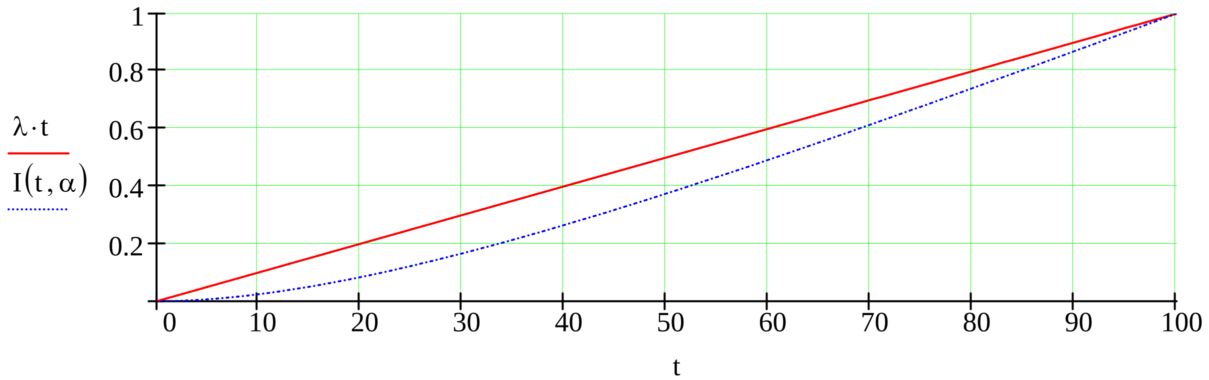
$$I(t, \alpha) := -\ln\left[1 - \left(1 - e^{-\alpha \cdot w_1 \cdot \lambda \cdot t}\right) \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot \lambda \cdot w_4 \cdot t}\right)\right]$$

etsitään sellainen skaalauskerroin, jolla vikojen lukumäärä keskimäärin hetkeen T mennessä on I4.
siemen

$\alpha := 3$ !

$\alpha := \text{root}(I(T, \alpha) - \lambda \cdot T, \alpha)$ $\alpha = 3.568$ $I_1 := \alpha \cdot w_1 \cdot \lambda \cdot T$ $I_4 := \alpha \cdot w_4 \cdot \lambda \cdot T$

$I_1 = 1.194$ $I_4 = 2.374$




$I_1 = 1.194$ $I_2 := w_2 \cdot I_4$ $I_2 = 1.187$ $I_3 := w_3 \cdot I_4$ $I_3 = 1.187$