1. Tehtävässä 3.3 ratkaistiin järjestelmän minimikatkosjoukot:

$$\begin{aligned} T &= (B+G)(C+H)(D+I)(D+F+H)(B+E+H) = \dots \\ &= BCD + BCFI + BDH + BHI + CDEG + CEFGI + DGH + GHI \end{aligned}$$

Komponentit ovat identtisiä $q_B = q_C = \cdots = q_I = q$, joten koko järjestelmän approksimatiivinen epäkäytettävyys on $Q_S \approx 5 \cdot q^3 + 2 \cdot q^4 + q^5$.

Kyseessä on järjestelmä, jonka komponentit korjataan välittömästi rikkoutumisen jälkeen. Keskimääräinen epäkäytettävyys $q \approx \frac{\lambda\tau}{1+\lambda\tau}$ (vrt. laskari 7.1), missä λ on vikaantumistaajuus ja τ on keskimääräinen korjausaika. Nyt siis $\lambda = 1/50 = 2 \cdot 10^{-2}$/h ja

$$\begin{aligned} q &= \frac{\lambda\tau}{1+\lambda\tau} \\ &= \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 5}{1 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot 5} \approx 0.091 \\ \Rightarrow Q_S &= 5 \cdot 0.091^3 + 2 \cdot 0.091^4 + 0.091^5 \\ &\approx 0.0039 \\ \Rightarrow A_S &= 1 - 0.0039 \approx 0.996 \end{aligned}$$

2. Komponenttien epäluotettavuuksiksi voidaan laskea $q_A = 1 - r_A = 0.02$, $q_B = 1 - r_B = 0.04$ ja $q_C = 1 - r_C = 0.06$. Järjestelmän vikaantumistodennäköisyys on

$$\begin{aligned} q = P(T) &= P\big(A(B+C)\big) \\ &= P(A)P(B+C) \\ &= P(A)\big(P(B) + P(C) - P(B)P(C)\big) \\ &= q_A\big(q_B + q_C - q_B q_C\big) \end{aligned}$$

(a) Komponentin $i = A, \dots, C$ Birnbaumin tärkeysmitta saadaan kaavalla

$$\frac{\partial q}{\partial q_i} = \frac{\partial}{\partial q_i} q_A\big(q_B + q_C - q_B q_C\big) \ .$$

$\frac{\partial q}{\partial q_A}$	$\frac{\partial q}{\partial q_B}$	$\frac{\partial q}{\partial q_C}$
$q_B + q_C - q_B q_C$	$q_A\,(1 - q_C)$	$q_A\,(1 - q_B)$
0.0976	0.0188	0.0192

Birnbaumin tärkeysmitta voidaan laskea myös huipputapahtuman todennäköisyyksien erotuksena, kun kiinnostuksen kohteena oleva riskitekijä toteutuu vs. riskitekijä ei toteudu:

$P(T/A) = P(B+C) = q_B + q_C - q_B \cdot q_C = 0.04 + 0.06 - 0.04 \cdot 0.06 \approx 0.0976$
$P(T/\bar{A}) = 0$
$I_A(B) = P(T/A) - P(T/\bar{A}) = 0.0976 - 0 = 0.0976$

$P(T/B) = P(A) = q_A = 0.02$
$P(T/\bar{B}) = P(A)P(C) = q_A \cdot q_C = 0.02 \cdot 0.06 = 0.0012$
$I_B(B) = P(T/B) - P(T/\bar{B}) = 0.02 - 0.0012 = 0.0188$

$P(T/C) = P(A) = q_A = 0.02$
$P(T/\bar{C}) = P(A)P(B) = q_A \cdot q_B = 0.02 \cdot 0.04 = 0.0008$
$I_C(B) = P(T/C) - P(T/\bar{C}) = 0.02 - 0.0008 = 0.0192$

Birnabaumin mitta kuvaa sitä muutosta järjestelmän epäluotettavuudessa, joka tapahtuu kun komponentti muuttuu täysin luotettavasta täysin epäluotettavaksi. Epäluotettavuuden kasvu vikantumisen seurauksena saadaan kaavalla

$$\frac{\partial q}{\partial q_i}(q_A, q_B, q_C)\Delta q_i$$

ja koska $\Delta q_i \approx 1$, antavat Birnbaumin mitat approksimaation epäluotettavuuden kasvulle. Näin ollen komponentin A vikaantuminen kasvattaa järjestelmän vikaantumistodennäköisyyttä eniten, sillä sen Birnbaumin mitta on suurin.

(b) Komponentin i Fussell-Vesely mitta saadaan approksimatiivisella kaavalla

$$\frac{\sum_{\{j|i\in MCS_j\}} P(MCS_j)}{\sum_j P(MCS_j)}\ .$$

Minimikatkosjoukot ovat AB ja AC. Tulokset ovat oheisessa taulukossa.

$I_{FV}(A)$	$I_{FV}(B)$	$I_{FV}(C)$
$\frac{q_Aq_B+q_Aq_C}{q_Aq_B+q_Aq_C} = 1$	$\frac{q_Aq_B}{q_Aq_B+q_Aq_C} = \frac{q_B}{q_B+q_C}$	$\frac{q_Aq_C}{q_Aq_B+q_Aq_C} = \frac{q_C}{q_B+q_C}$
1	0.4	0.6

Komponentin i Fussel-Vesely mitan tulkinta on, että millä todennäköisyydellä kyseisen komponentin siltävä katkosjoukko on tapahtunut, jos järjestelmä on vikaantunut. Näin ollen korkean Fussell-Veselyn omaavan komponentin korjaaminen johtaa todennäköisimmin vian aiheuttaneen minimikatkosjoukon poistamiseen, jolloin komponentin korjaaminen poistaa vian. Näin ollen ensin kannatta tarkistaa A, sitten C ja viimeiseksi B.

3. Kokonaisriski:

$$R = I[1 - P(C_1)][1 - P(C_3)]P(C_2) = 10^{-3}[1 - 0.001][1 - 0.005]0.008 = 7.95 \times 10^{-6}$$

$$I_{RAW}^{C_1} = \frac{R(P(C_1)=1)}{R} = \frac{10^{-3}(1-1)(1-0.005)0.008}{7.95\times10^{-6}} = 0$$

$$I_{RAW}^{C_2} = \frac{R(P(C_2)=1)}{R} = \frac{10^{-3}(1-0.001)(1-0.005)1}{7.95\times10^{-6}} = 125$$

$$I_{RAW}^{C_3} = \frac{R(P(C_3)=1)}{R} = \frac{10^{-3}(1-0.001)(1-1)0.008}{7.95\times10^{-6}} = 0$$

$$I_{RRW}^{C_1} = \frac{R}{R(P(C_1)=0)} = \frac{7.95\times10^{-6}}{10^{-3}(1-0)(1-0.005)0.008} = 0.999$$

$$I_{RRW}^{C_2} = \frac{R}{R(P(C_2)=0)} = \frac{7.95\times10^{-6}}{10^{-3}(1-0.001)(1-0.005)0} = \infty$$

$$I_{RRW}^{C_3} = \frac{R}{R(P(C_3)=0)} = \frac{7.95\times10^{-6}}{10^{-3}(1-0.001)(1-0)0.008} = 0.995$$

Komponenttien C_1 ja C_2 RRW mitat ovat alle 1. Tämä tarkoittaa sitä, että niiden vikaantumisen eliminoiminen *kasvattaa* riskiä! Toisaalta näiden komponenttien RAW mitat ovat 0, eli jos nämä komponentit vikaantuvat, putoaa riski nollaan.