Monikomponenttijärjestelmän kunnonvalvontastrategian optimointi (valmiin työn esittely)

Santeri Paljakka

25.8.2023

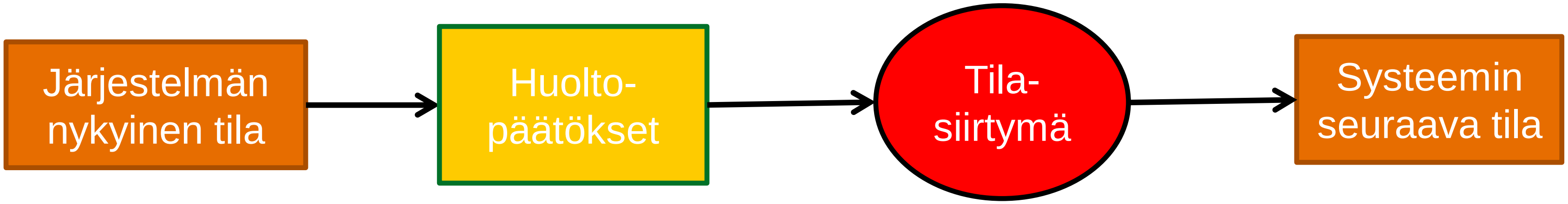
Ohjaaja: *Jussi Leppinen*

Valvoja: *Ahti Salo*

Tausta

- Huollon optimoinnin tavoitteena minimoida pitkän aikavälin huoltokustannuksia samalla huolehtien järjestelmän luetettavuudesta
- Huoltopäätösten teossa voidaan hyödyntää havaintoja järjestelmän todellisesta tilasta
- Erilaisten kunnonvalvontastrategioiden vertailu
  – Mitä komponentteja kannattaa monitoroida ja kuinka usein?
  – Kuinka paljon komponenttien säännöllisestä kunnonvalvonnasta kannattaa maksaa?

Markov päätösprosessi



- Markov-ominaisuus: Tilasiirtymät riippuvat vain nykytilasta
- Osittain havainnoitava Markov päätösprosessi
  – Järjestelmän tilaa ei tunneta varmuudella
- Optimaalisen toimintapolitiikan määrittäminen
  – Arvoiteraatio ja ohjauksen iteraatio –algoritmit

Järjestelmän tilan mallintaminen

- Järjestelmän tilaa tarkastellaan diskreeteissä huoltoikkunoissa t^k huoltoväleillä Δt
- Kuntoluokka

$$w^k = m\Delta t, m \in \mathbb{N}$$

- Hajoamistila

$$f^k = \begin{cases} 1, \text{jos komponentti on rikki} \\ 0, \text{muuten} \end{cases}$$

- Systeemin tila määrittyy yksiselitteisesti

$$s^k = \begin{bmatrix} w^k \\ f^k \end{bmatrix}$$

Siirtymätodennäköisyydet

- Yhden huoltovälin Δt aikana
  - Komponentin kuluminen voi pysyä samana $w^k = w^{k-1}$
  - Komponentin kuluminen voi kasvaa $w^k = w^{k-1} + \Delta t$
  - Komponentti voi hajota $f^k = 1$
- $2^n(n+1)$ mahdollista siirtymää jokaisen tilan välissä
  - n: komponenttien määrä järjestelmässä

Hajoamistodennäköisyydet

- Hajoamistodennäköisyydet noudattavat Weibull-jakaumaa kertymäfunktiolla $F(w^k)$
- Järjestelmän luotettavuus

$$R(w^k) = \prod_{i=1}^{n} \frac{1 - F(w^k + \Delta t)}{1 - F(w^k)}$$

- Hajoamistodennäköisyydet
  - Komponentin i hajoamista huoltoikkunassa (t^k, t^{k+1}) merkitään E_i^k

$$P(E_i^k) = \frac{\int_0^{\Delta t} \prod_{j\neq i}^{n} \left[1 - F_j(w_j^k + t)\right] f_i(w_j^k + t) dt}{\prod_{i=1}^{n} \left[1 - F_i(w_i^k)\right]}$$

Kulumistodennäköisyydet

- Komponentin i kulumistodennäköisyyden määrää funktio $g(w^k)_i$
- Binäärivektori $q^k \in \{0,1\}^n$, jossa $q_i^k = 1$ jos ja vain jos $w_i^{k+1} = w_i^k$

$$P\left(q^k = y\right) = \prod_{i=1}^{n} [y_i g\left(w^k\right)_i + (1 - y_i)(1 - g(w^k)_i]$$

Esimerkki siirtymätodennäköisyyksistä

Alkutila: $s^k = \begin{bmatrix} 4 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

s^{k+1}	$P(s^{k+1} \vert s^k)$
$\begin{bmatrix} 4 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$R\left((4,3,2)^T\right)P(q^k = (1,1,1)^T)$
$\begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$R\left((4,3,2)^T\right)P(q^k = (0,0,0)^T)$
$\begin{bmatrix} 5 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$R\left((4,3,2)^T\right)P(q^k = (0,1,0)^T)$
$\begin{bmatrix} 4 & 4 & 3 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$P(E_2(4,3,2)^T)P(q^k = (1,0,0)^T)$
$\begin{bmatrix} 5 & 4 & 2 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$P(E_1(4,3,2)^T)P(q^k = (0,0,1)^T)$

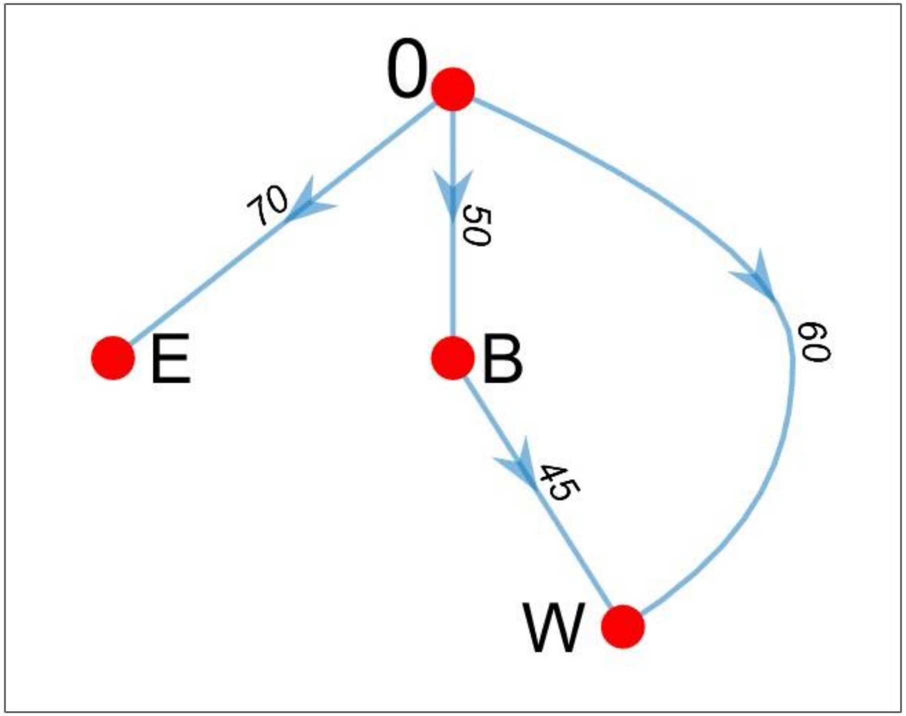
Huoltopäätökset

- Luotettavuuden täytyy ylittää kynnysarvo $\rho \in (0,1)$: $\forall k$: $R(w^k) \geq \rho$
- Komponentteja voidaan palautta huoltoikkunassa t^k takaisin alkuperäiseen kuntoon
  - $w_i^{k+1} = \Delta t$, kaikille komponenteille i jotka vaihdetaan.
- Kunkin huoltoportfolion kustannus riippuu
  - Komponenttien hinnoista
  - Komponenttien välisistä riippuvuuksista
  - Aloituskustannuksista
  - Hajoamisisten aiheuttamista toimintakatkoista

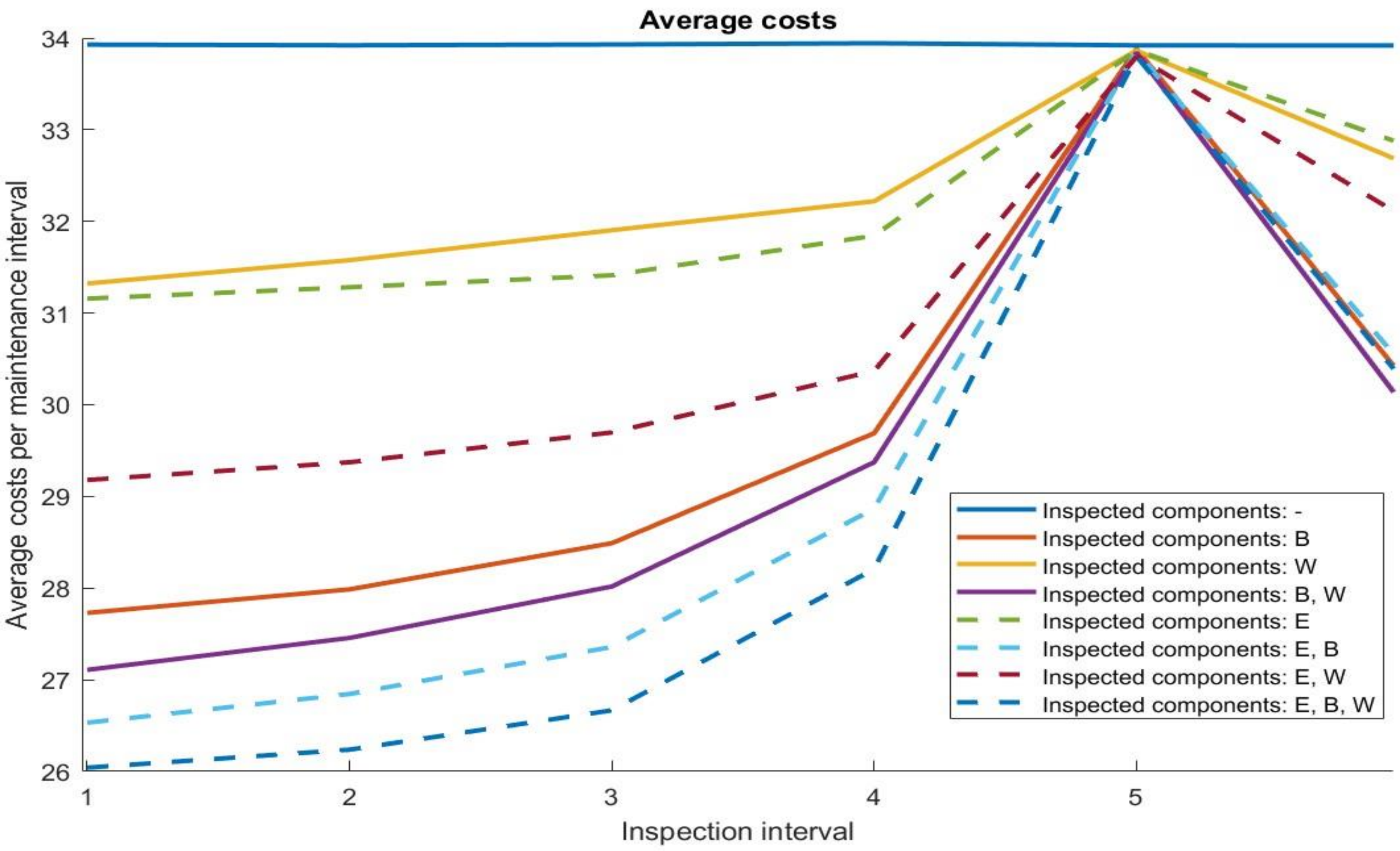
Tarkastukset

- Systeemin tilaa ei tiedetä täydellisesti kaikilla ajanhetkillä
  - Hajoamiset huomataan heti
  - Korjattaessa komponenttien tila palautuu uudenveroiseksi
  - Konservatiiviset arviot komponenttien kulumisesta
- Voidaan tehdä jaksollisia tarkastuksia
  - Tarkastusväliä voidaan muuttaa
  - Tarkastettavia komponentteja voidaan vaihdella

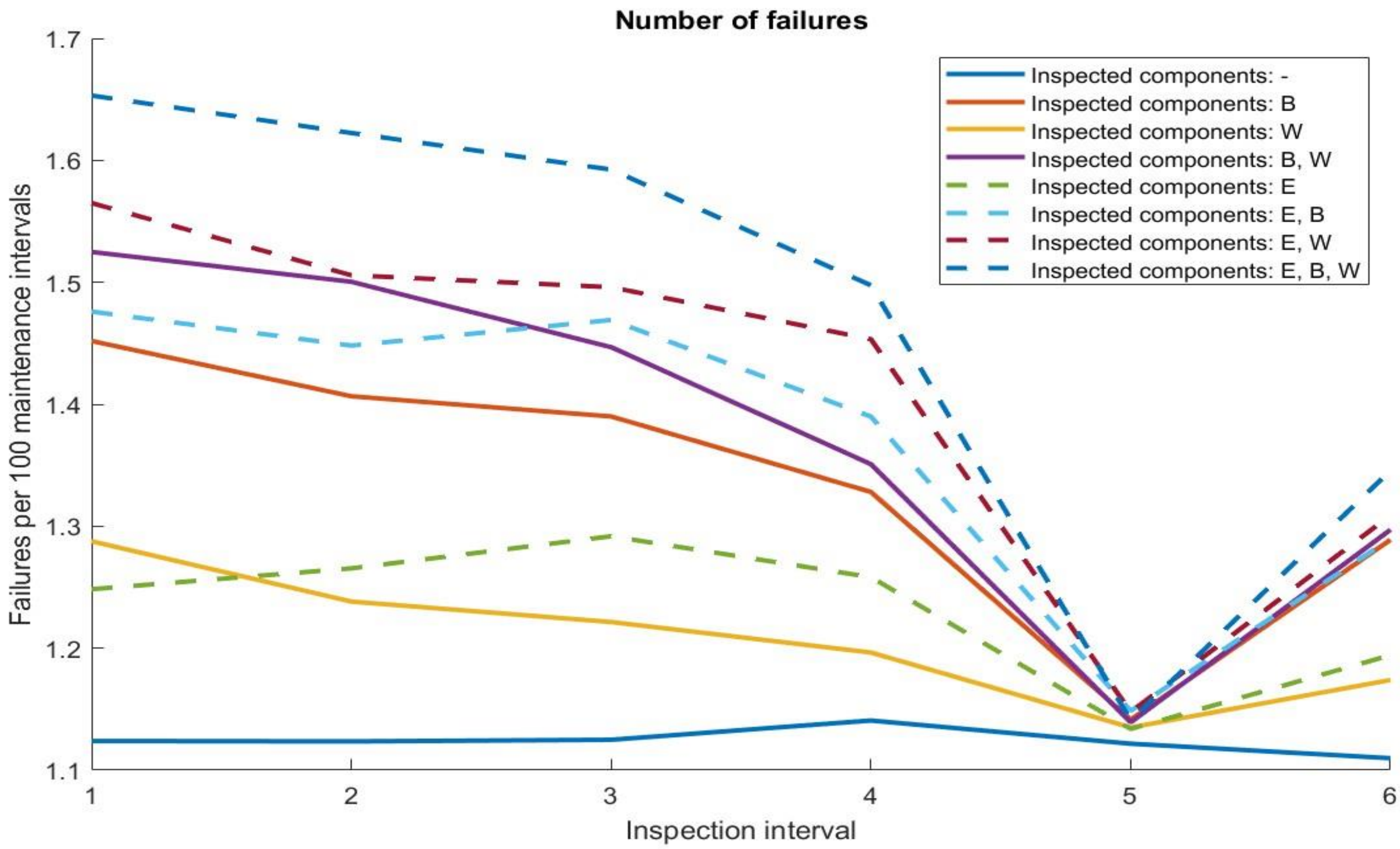
Järjestelmän rakenne



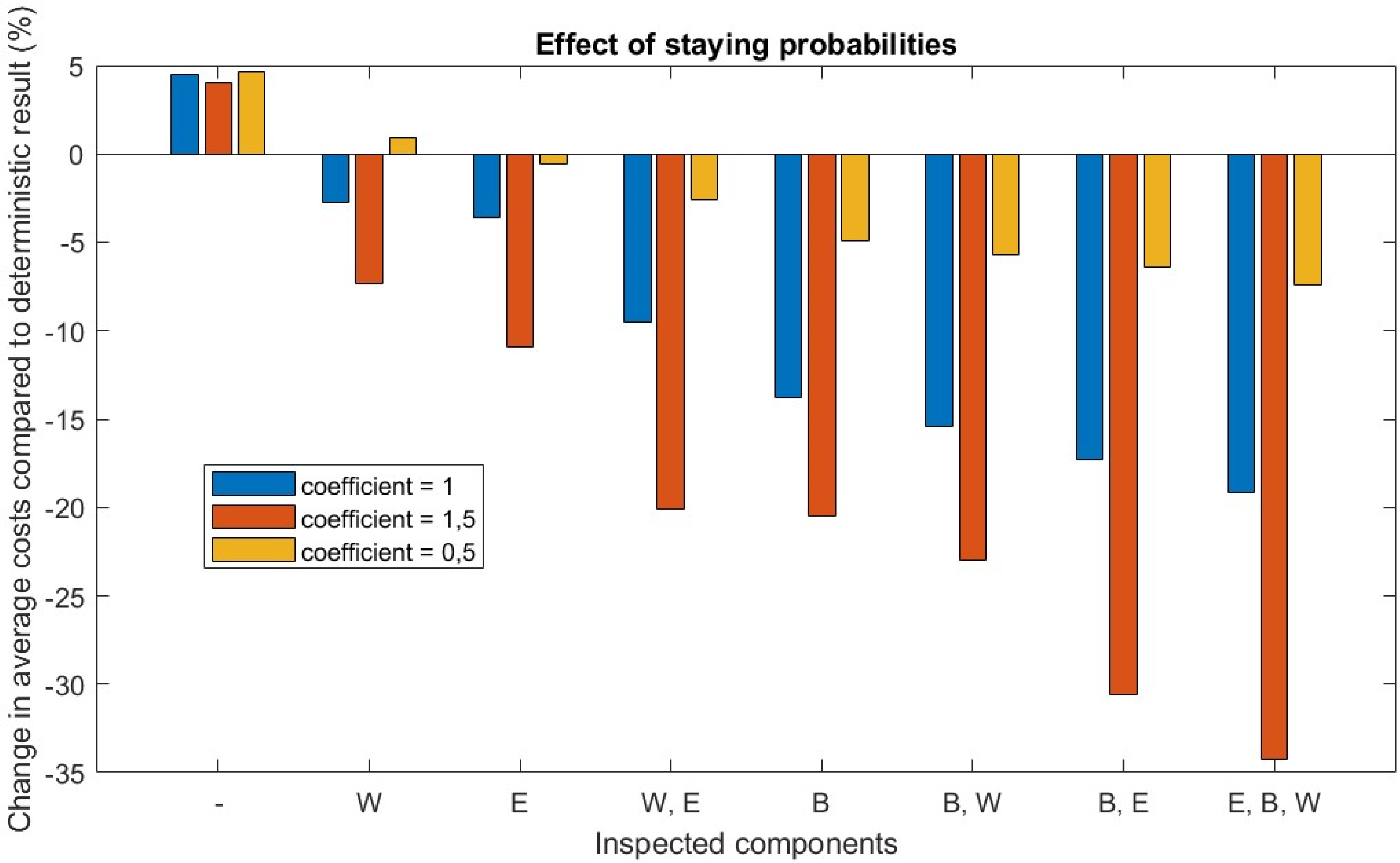
Keskimääräiset kustannukset



Hajoamisten lukumäärä



Kulumistodennäköisyyksien merkitys



Lopputulokset

- Pitkän aikavälin kustannukset pienenivät mitä enemmän ja useammin komponentteja tarkastettiin.
- Hajoamismäärät pienenivät konservatiivisimmilla kulumisarviolla.
- Tarkastusten hyöty oli suurin, kun ne kohdistuivat komponentiin, joka todennäköisimmin hajoaa ensin.

Lähteet

- Leppinen, J., A. Punkka, T. Ekholm and A. Salo (2023). "An Optimization Model for Determining Cost-Efficient Maintenance Policies for Multi-Component Systems with Economic and Structural Dependencies." Submitted to Omega.
- Lähteenmäki, P. (2022). A Condition-Based Maintenance Model for Multi-Component Systems Under Continuous Monitoring Bachelor's Thesis, Aalto University.
- Kokkonen, S. (2021). Condition-Based Maintenance Scheduling Model with Periodic Inspections Bachelor's Thesis, Aalto Univeristy.
- Torpo, N. (2019). A Simulation Model to Compare Opportunistic Maintenance Policies. Bachelor's Thesis, Aalto Univeristy.
- Quatrini, E., F. Costantino, G. Di Gravio and R. Patriarca (2020). "Condition-Based Maintenance—An Extensive Literature Review." Machines **8(2): 31.**
- Howard, R. A. (1960). Dynamic Programming and Markov Processes, John Wiley.