



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Simulation model to compare opportunistic maintenance policies

*Noora Torpo*

*31.08.18*

Ohjaaja/Valvoja: Antti Punkka

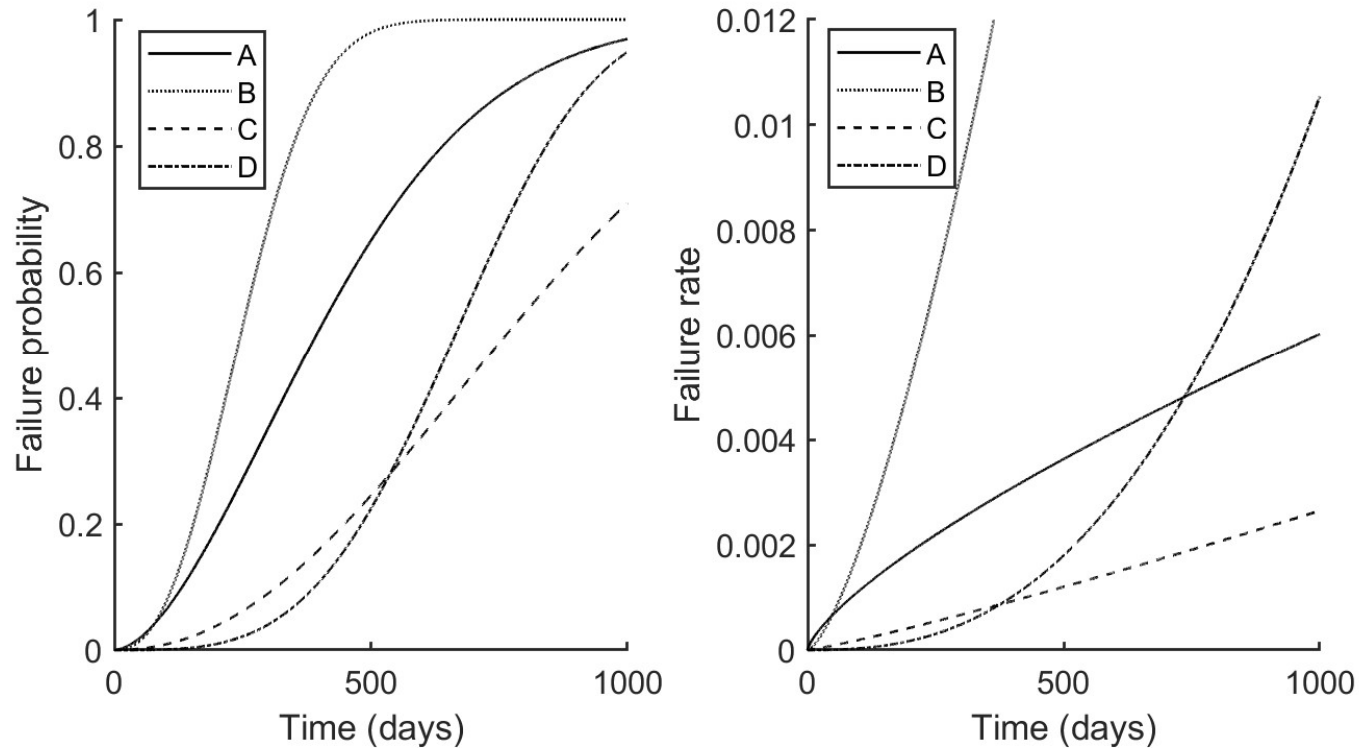
Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

# Työn tavoite ja rajaukset

*Rakentaa kirjallisuudessa esitettyjä malleja hyödyntämällä matemaattinen malli, jonka avulla voidaan vertailla erilaisia huoltostrategioita.*

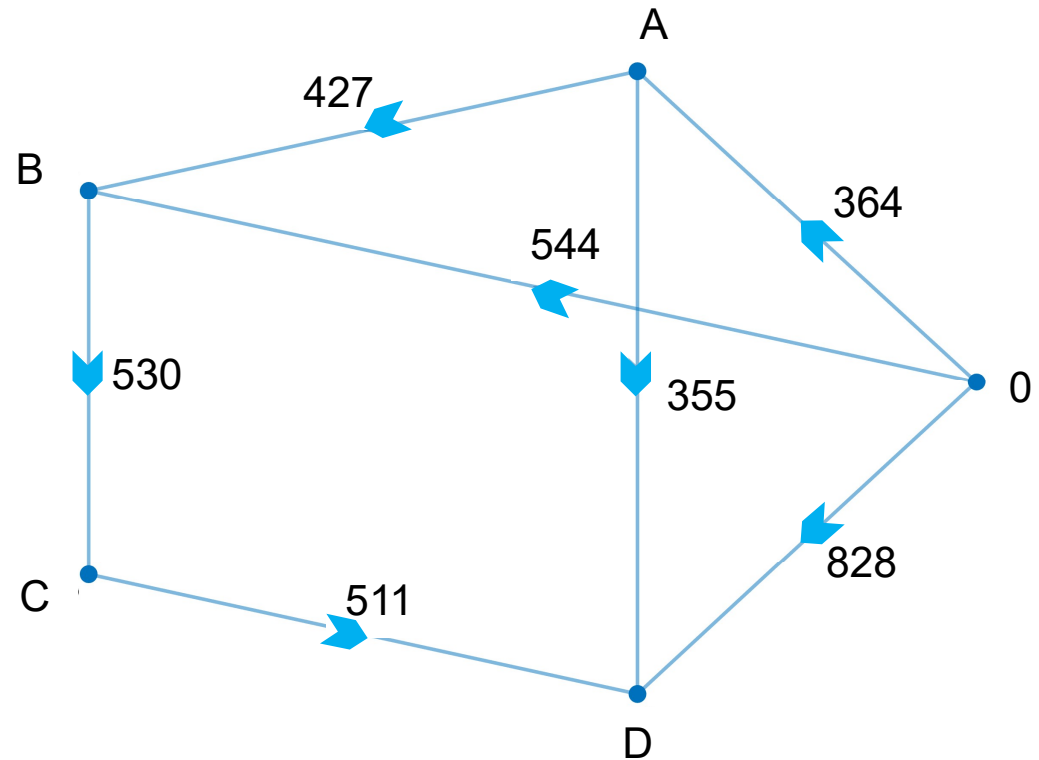
- 5-20 komponenttia ja käyttöaikana 50-100 huoltoa
- Kaikki komponentit kriittisiä, erilaisia ja vikaantuvat toisistaan riippumatta
- Taloudellisia ja rakenteellisia riippuvuuksia
- Kustannukset koostuvat huollon kiinteästä ja toimenpiteiden yksittäisistä kustannuksista

# Komponenttien tila mallinnetaan todennäköisyysjakaumilla



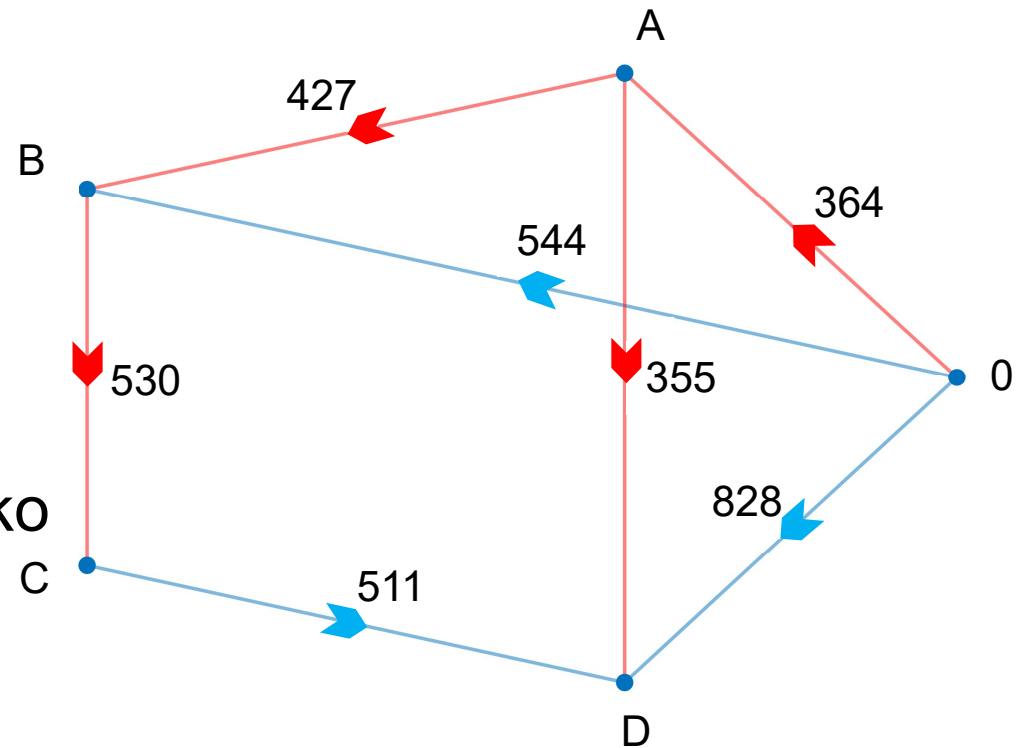
# Systemiä mallinnetaan verkkona

- Solmut kuvaavat huoltotoimenpiteitä ja "0" huollon aloittamista
- Kaaret kertovat riippuvuussuhteista ja kustannuksista
- Kiinteä kustannus maksetaan jokaisen huoltokerran yhteydessä



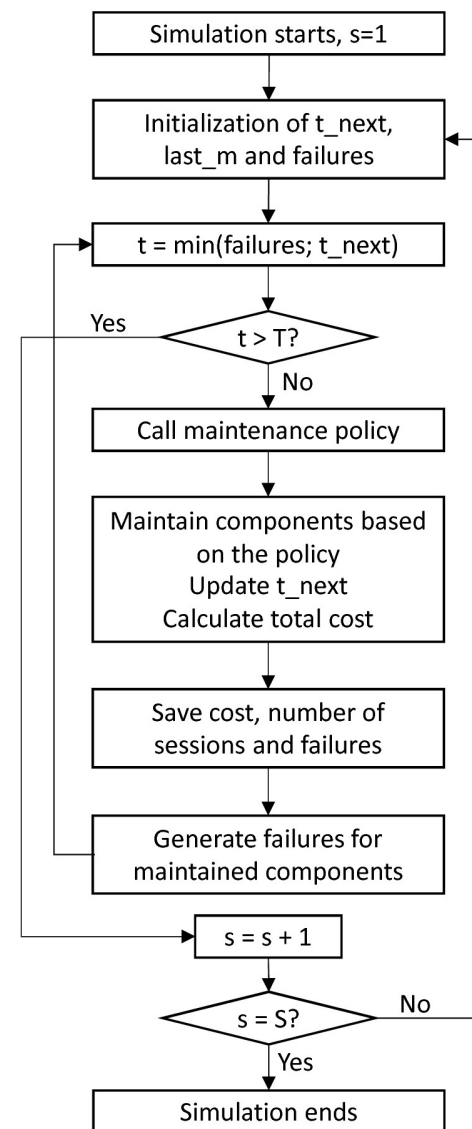
# Huoltokerran kokonaiskustannus määritetään Edmondin algoritmilla

- Määritetään puu, joka yhdistää juuren jokaiseen solmuun minimi-kustannuksilla
- Muut komponentti-kombinaatiot saadaan muodostamalla aliverkko
- Korjaava huolto aiheuttaa lisäkustannuksia



# Simulointimallilla vertaillaan erilaisia huoltostrategioita

- Komponenttien hajoamiset generoidaan todennäköisyysjakaumista
- Tieto kokonaiskustannuksista sekä huoltokertojen ja tapahtuneiden vikojen määrästä
- Yksi simulointikierrös kestää systeemin eliniän ja simulointeja tehdään n. 1000



# Vertaillaan 4 huoltostrategiaa

## 1. Age based policy

- Komponentti huolletaan, kun aika edellisestä huoltokerrasta ylittää kynnyksarvon
- Kynnyksarvo saadaan määrittämällä optimaalinen huoltoväli **yksittäiselle** komponentille

## 2. Age based policy with inspections

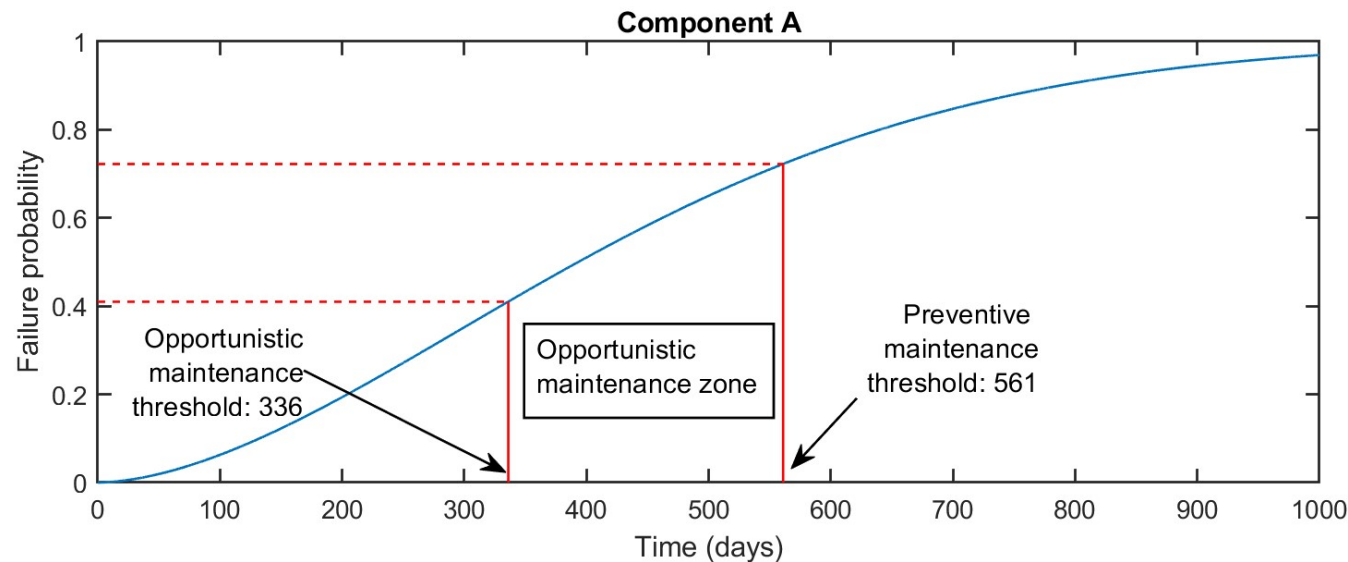
- Huollon yhteydessä tehdään havaintoja  $t_{insp}$  ajan päähän
- Voidaan aikatauluttaa komponentin seuraava huolto uudestaan

### 3. Simple opportunistic maintenance policy

- Komponentti huolletaan viimeistään saman kynnyksarvon ylittyessä kuin strategiassa 1.
- Voidaan huoltaa  $p$  prosenttia aikaisemmin määritetystä kynnyksarvosta toisen huoltokerran yhteydessä

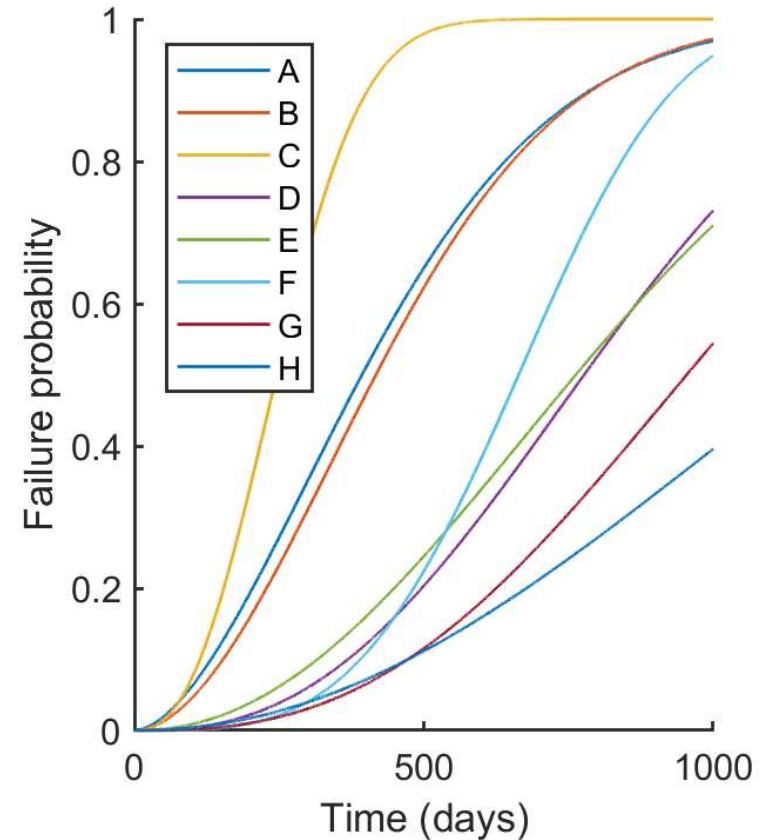
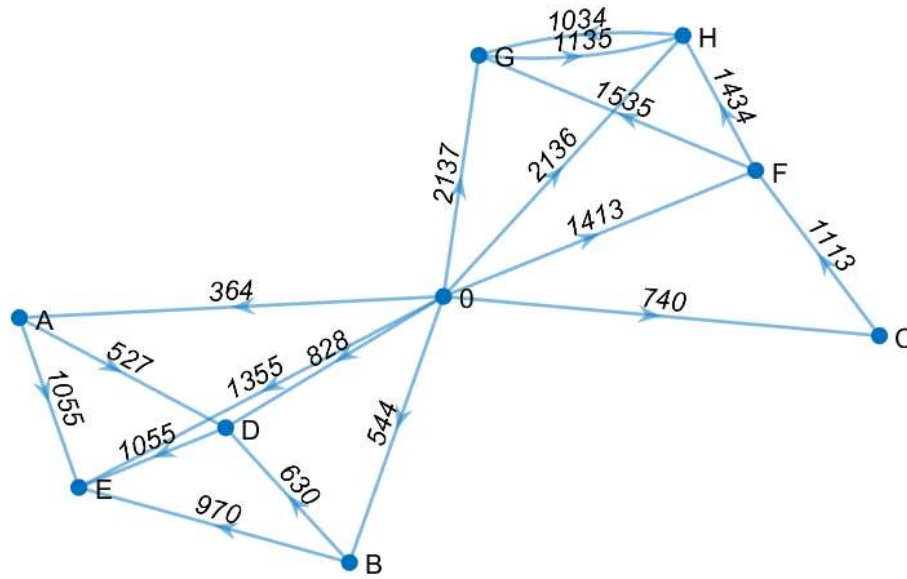
### 4. Simple opportunistic maintenance policy with inspections

- Voidaan tehdä havaintoja ja uudelleenaikataulutuksia



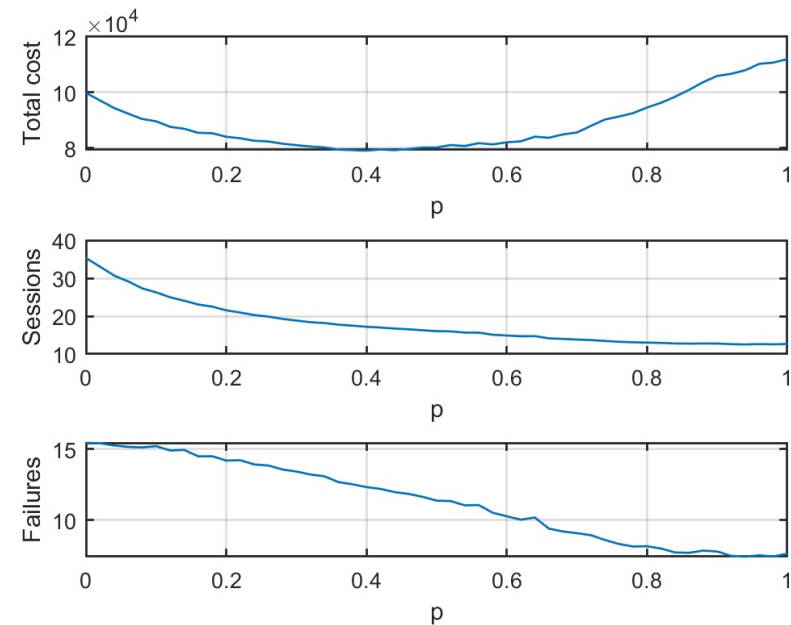
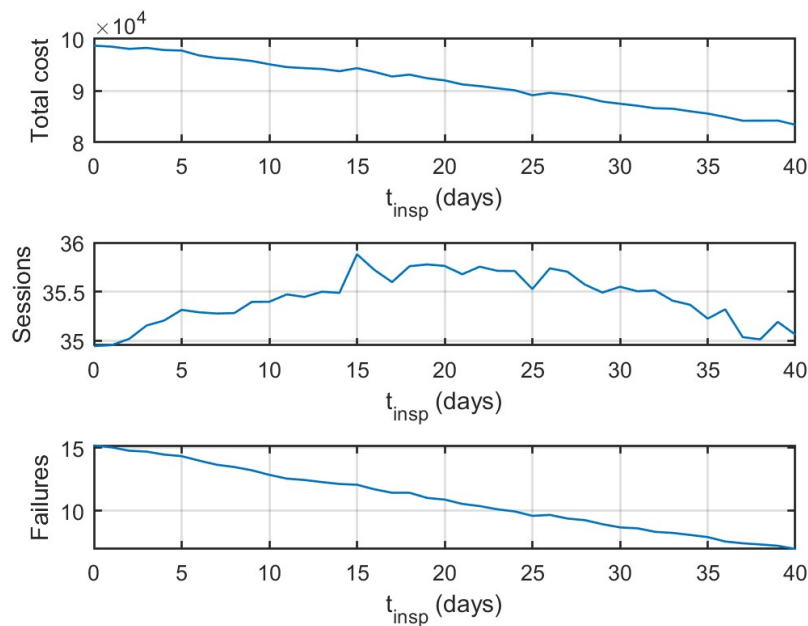


# Simulointimallia testattiin 8 komponentin systeemillä



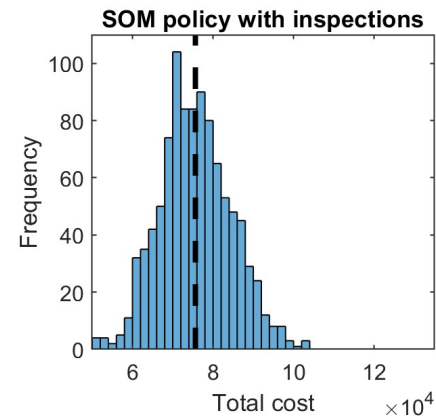
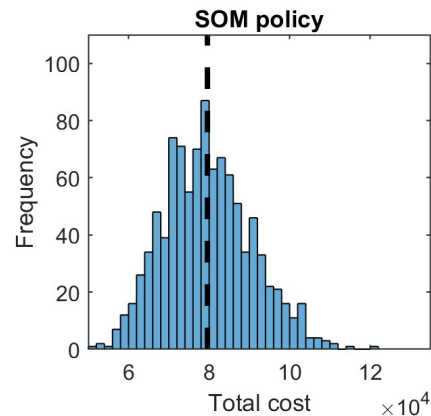
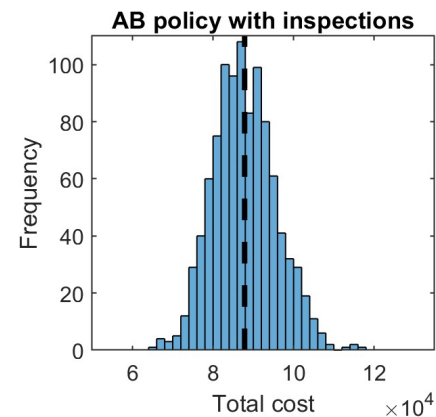
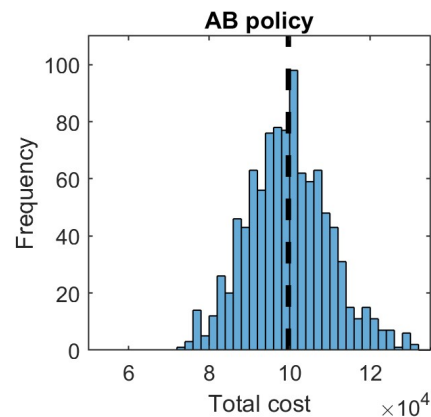
# Huoltostrategioiden parametrien valinta

- Voidaan ennustaa komponenttien hajoaminen noin kuukauden päähän,  $t_{insp} = 30$
- $p = 40\%$  opportunistiselle huoltostrategioille



# Tulokset

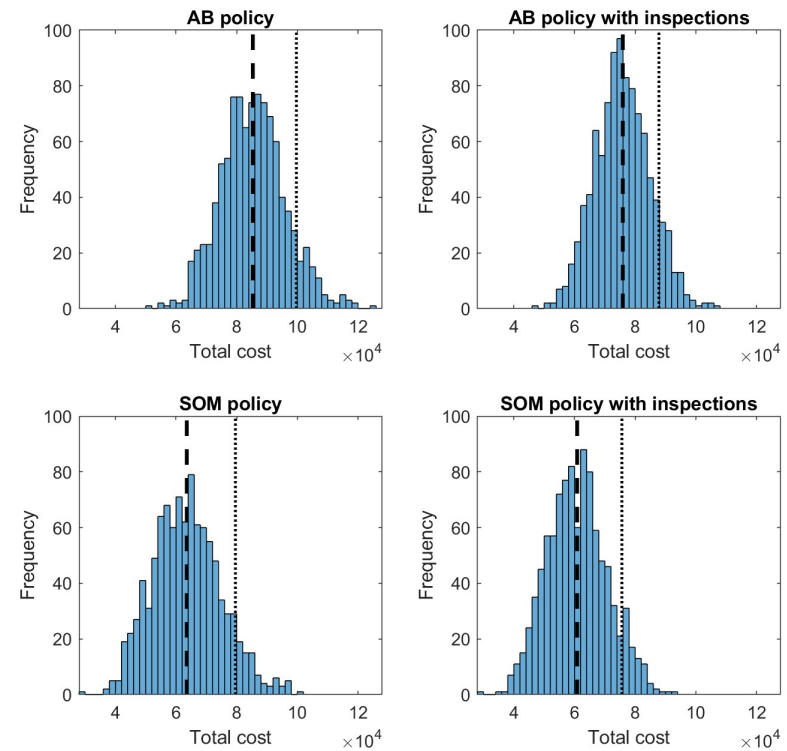
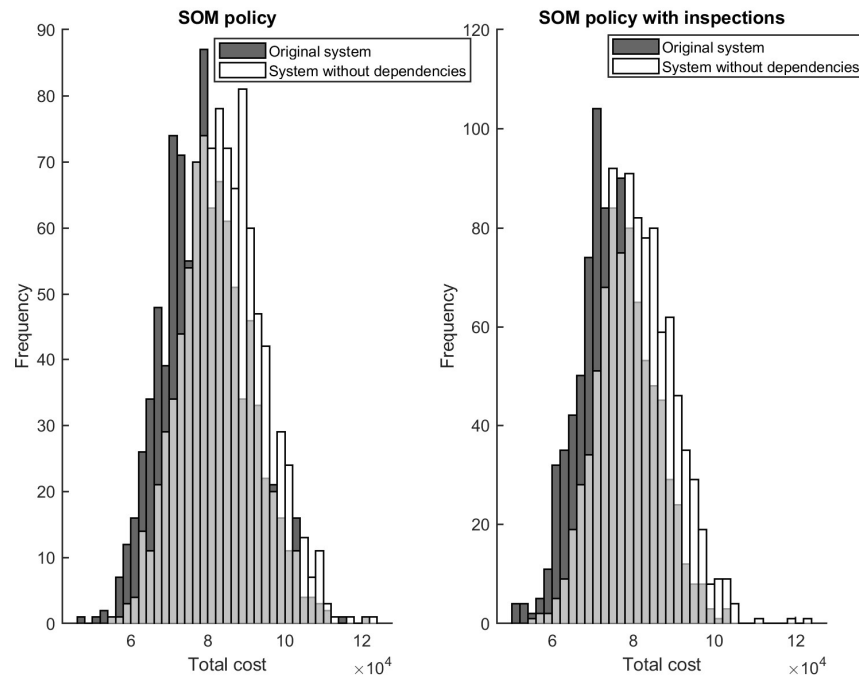
	Total cost	Sessions	Failures
AB policy	99 700	35,3	15,5
AB policy with insp.	87 800	35,5	8,9
SOM policy	79 600	17,3	12,4
SOM policy with insp.	75 600	16,4	10,7



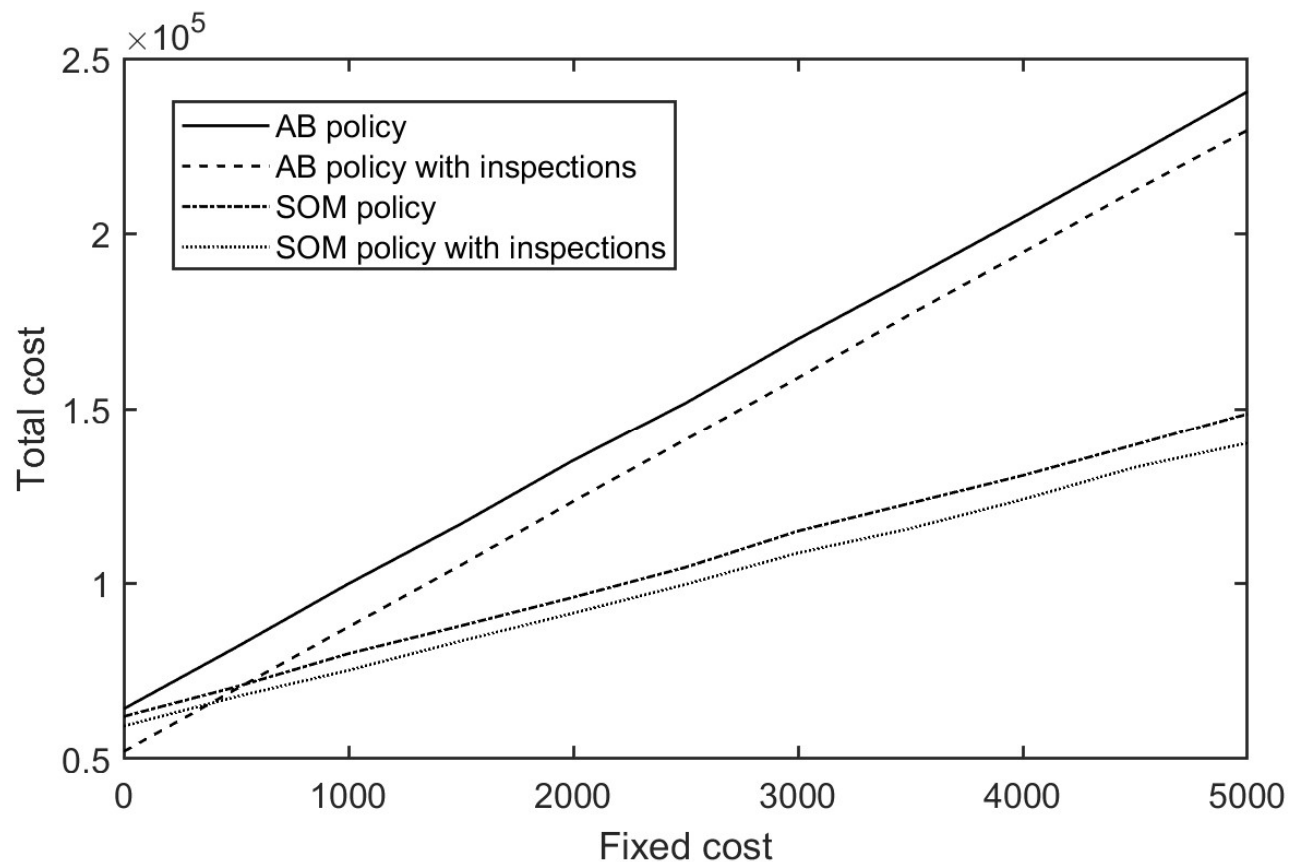
# Systemin muuttaminen vaikuttaa tuloksiin

*Jätetään komponenttien väliset riippuvuudet huomioimatta*

*Käytetään samaa jakaumaa kaikille komponenteille*



# Kokonaiskustannukset riippuvat kiinteästä kustannuksesta



# Lähteet

Barlow, R. and F. Proschan 1996. Mathematical theory of reliability. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

Dekker, R., R. Wildeman, and F. Van Duyn Schouten 1997. A review of multi-component maintenance models with economic dependence. *Mathematical Methods of Operations Research*, 45:411–435.

Geng, J., M. Azarian, and M. Pecht 2015. Opportunistic maintenance for multi-component systems considering structural dependence and economic dependence. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 26:493–501.

Kleinberg, J. and E. Tardos 2006. *Algorithm design*. Pearson Education, Inc.

Laggoune, R., A. Chateauneuf, and D. Aissani 2009. Opportunistic policy for optimal preventive maintenance of a multicomponent system in continuous operating units. *Computer and Chemical Engineering*, 33:1499–1510.

Modarres, M., M. Kaminskiy, and V. Krivtsov 1999. *Reliability engineering and risk analysis: A practical guide*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Wildeman, R., R. Dekker, and A. Smit 1997. A dynamic policy for grouping maintenance activities. *European Journal of Operational Research*, 99:530–551.