



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Enhanced Policy Iteration Methods for Optimal Maintenance Scheduling

*Konsta Parkkali*

*27.8.2021*

*Ohjaaja: DI Jussi Leppinen*

*Valvoja: Prof. Antti Punkka*

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

# Tausta

- Monikomponenttinen systeemi (Leppinen ym., 2021)

- Taloudelliset riippuvuudet
- Rakenteelliset riippuvuudet

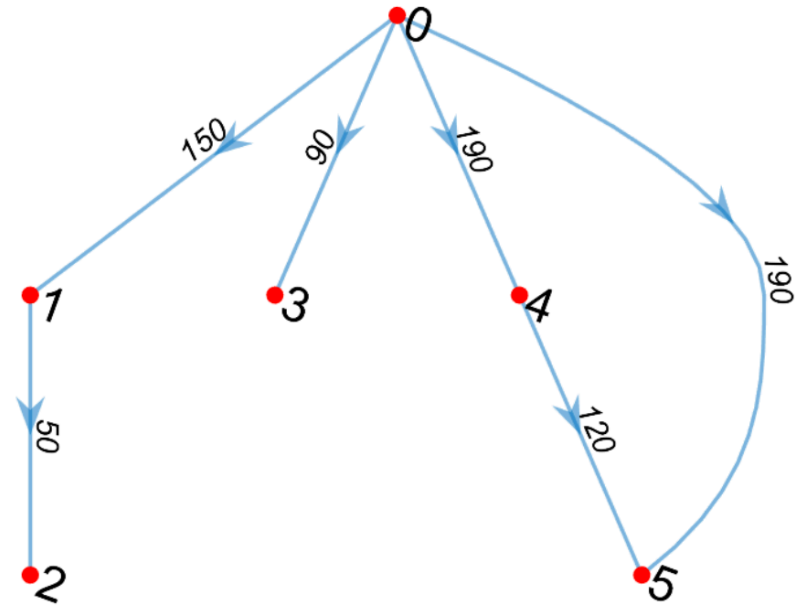
- Systeemin tila  $S$

- 1. rivi: Komponenttien iät
- 2. rivi: Onko rikki?

- $s = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 3 & 5 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

- Huoltotoimenpiteet  $A$

- $a = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$



Kuva 1: Leppinen ym. (2021)

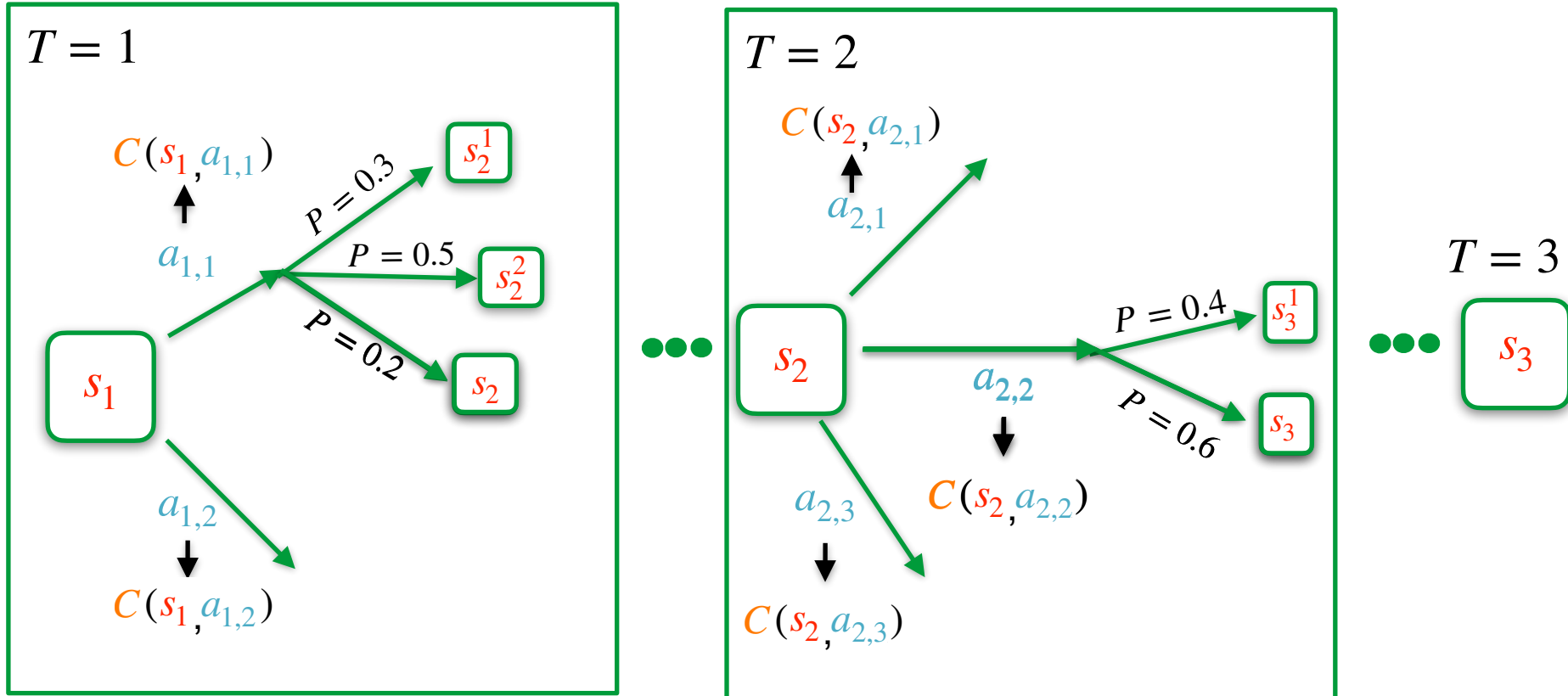
# Tausta

- Tavoitteena löytää optimaalinen huoltoaikataulu
  - Pitää systeemin toiminnan luotettavana
  - Minimoi huoltamiskustannukset  $C$
  - Välittömien ja tulevien kustannusten kompromissi
  - Diskonttauskerroin  $0 < \beta < 1$

$$E \left( \sum_{t=1}^{\infty} \beta^t C(s_t, a_t) \right)$$

# Malli

- Mallinnetaan diskontattuna Markov päätösprosessina

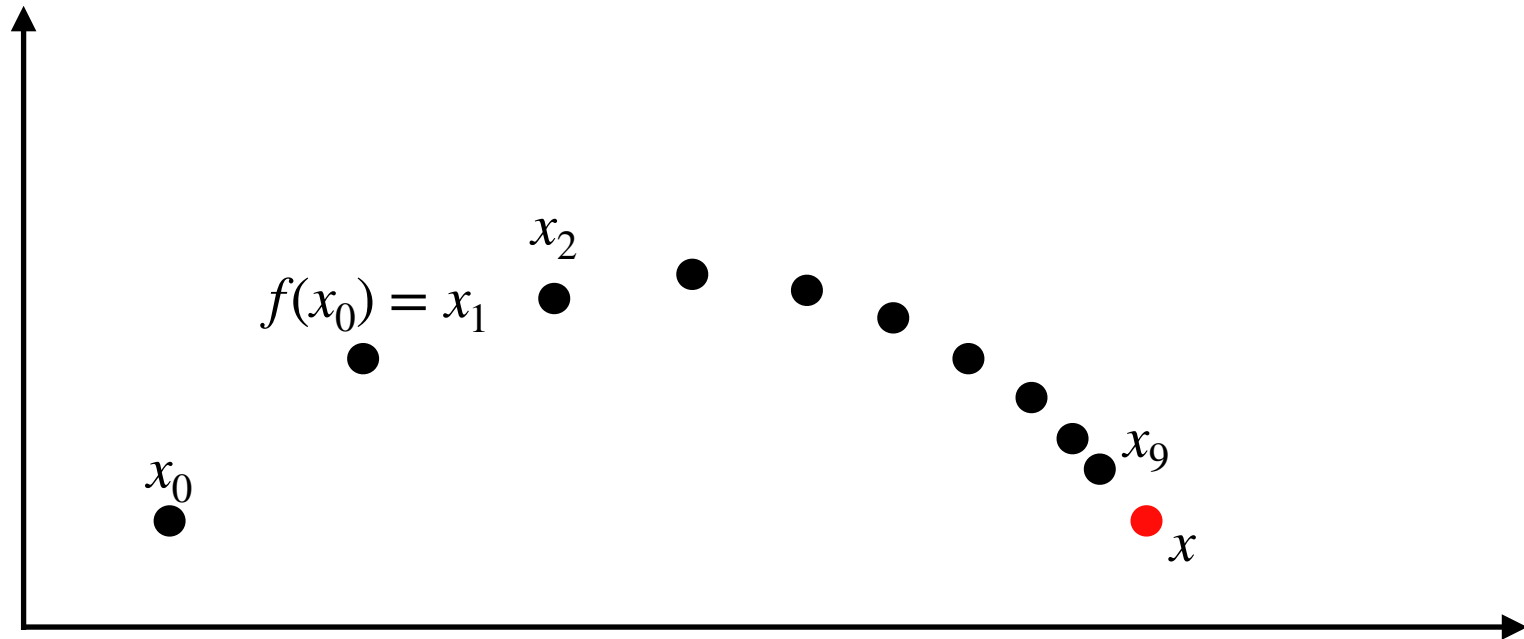


# Ongelma

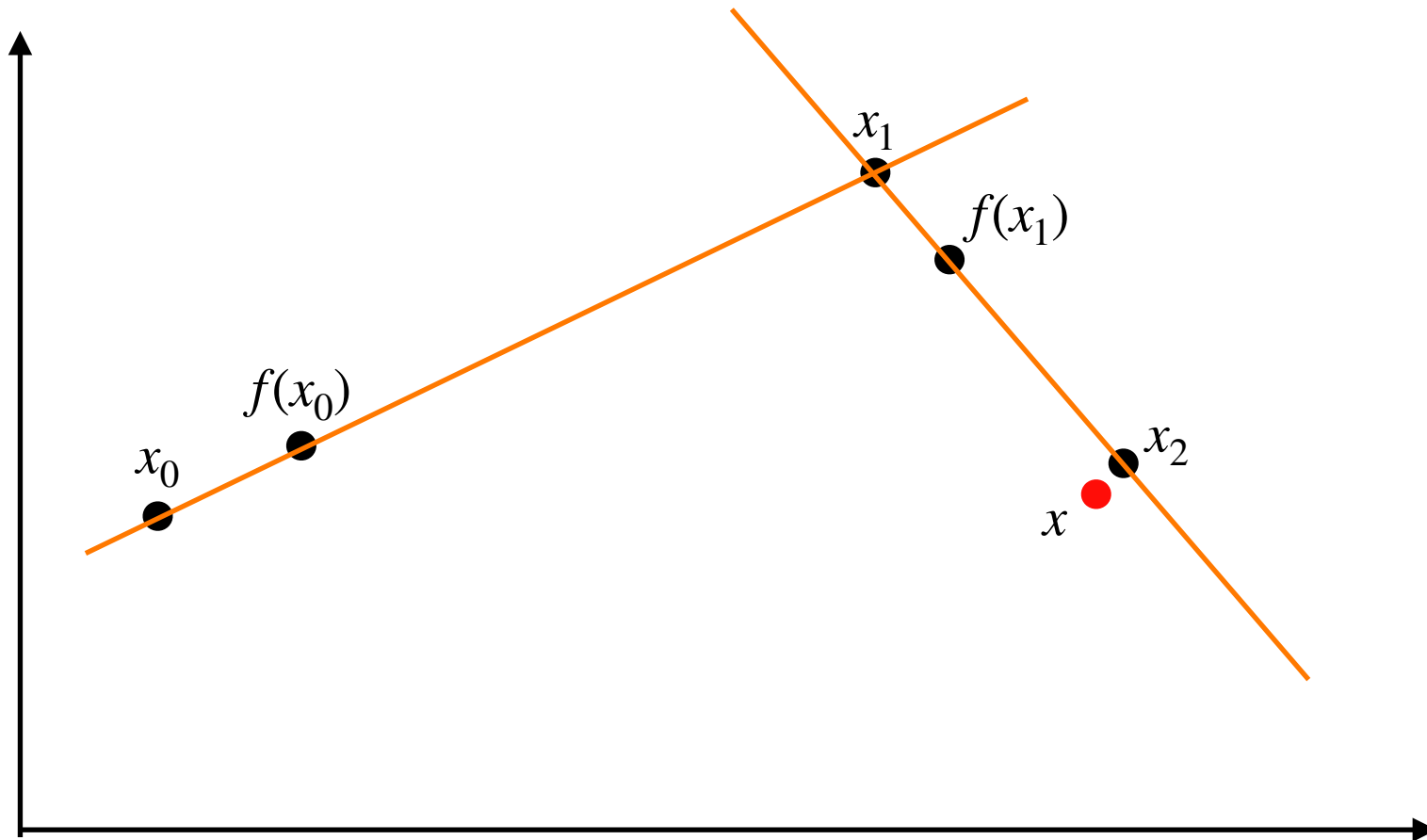
- Optimaalinen huoltoaikataulu voidaan ratkaista analyttisesti Policy Iteration -algoritmilla (Puterman, 1994)
  - Joka iteraatiolla ratkaistaan iso yhtälöryhmä
  - Laskennallinen vaativuus kasvaa nopeasti ongelman kasvaessa
- Modified Policy Iteration (Puterman, 1994)
  - Gauss-Seidel metodi (Puterman, 1994)
  - Anderson Acceleration (Geist ym., 2018)

# Modified Policy Iteration

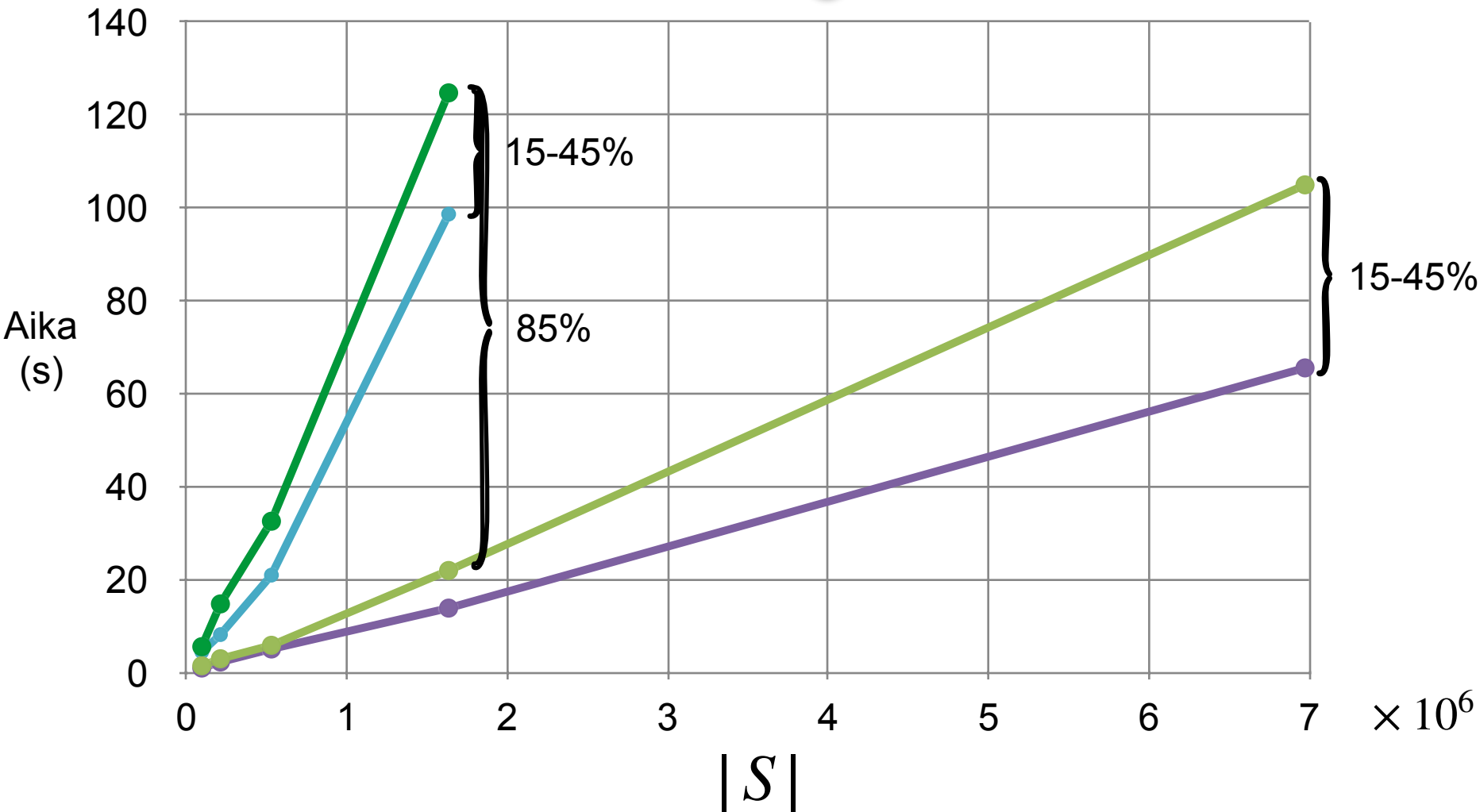
- Yhtälöryhmän ratkaisu  $x$  on erään funktion kiintopiste
  - $f(x) = x$
  - $x$  on esim. miljoona-dimensioinen vektori



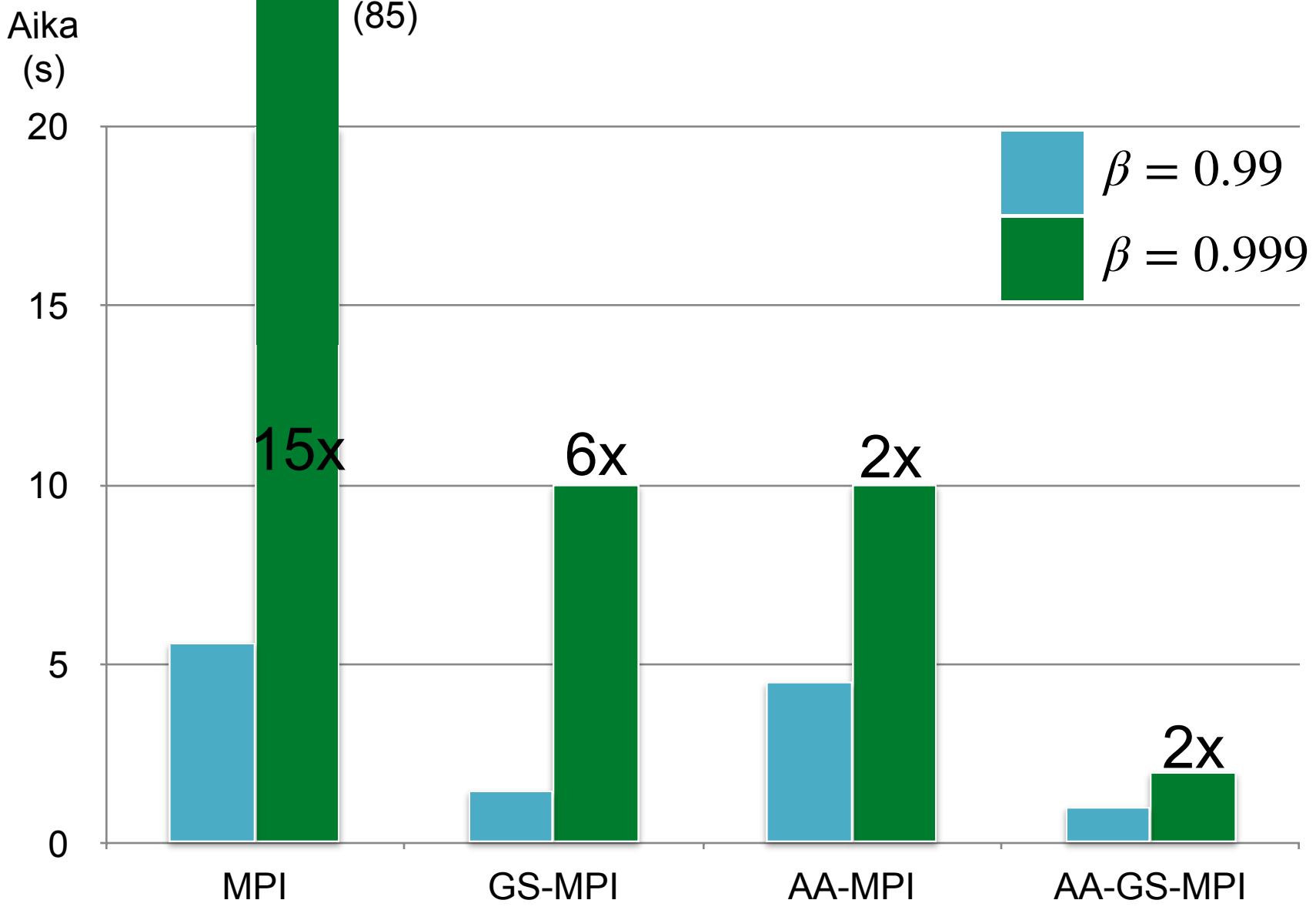
# Anderson Acceleration



- MPI
- GS-MPI
- AA-MPI
- AA-GS-MPI







# Loppupäätelmät

- Jopa 1000 kertaa isommat ongelmat
  - Ratkaisun tarkkuus säilyi
- Haasteena algoritmien parametrien valinta
- Anderson Acceleration tehokas erityisesti isoilla diskonttauskerroimilla
  - AA-GS-MPI jopa 97% nopeampi kuin MPI
- Mallin rajoittavaksi tekijäksi osoittautui muisti

# Kirjallisuus

- Leppinen, J., Punkka, A. & Ekholm, T. (2021): A Dynamic Optimization Model for Maintenance Scheduling of a Multi-Component System. [Submitted to EJOR]. School of Science, Aalto University.
- Puterman, M. L. (1994): Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming. John Wiley & Sons.
- Geist, M. & Scherrer, B. (2018): Andersson acceleration for reinforcement learning. EWRL 2018 - 4th, European workshop on Reinforcement Learning.