



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Tukikohtien huoltokyvyn vaikutus hävittäjäalentokoneiden käytettävyyteen

*Waltteri Keus*

*5.12.2023*

*Ohjaaja: Prof. Kai Virtanen*

*Valvoja: Prof. Kai Virtanen*

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

# Hävittäjäparvien allokointiongelma

- Hävittäjäparvia allokoidaan toiminta-alueilla toteutettaville tehtäville
- Parvet kuluttavat polttoainetta ja aseistusta - tankkaus ja aseistus tehtävien välissä

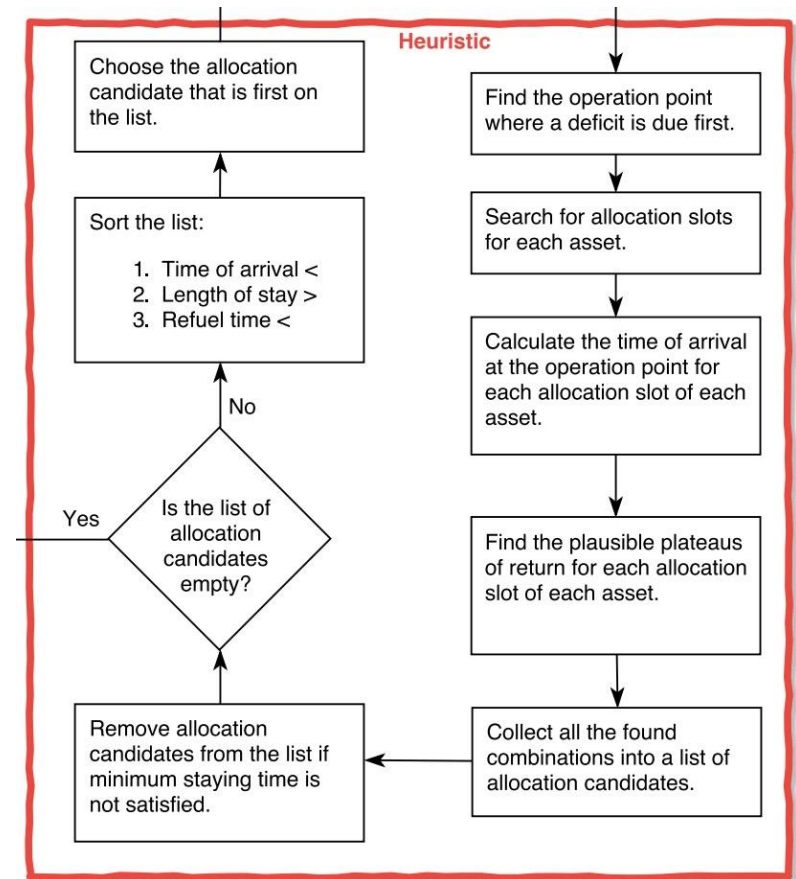
## Allokointiongelma

*Miten parvet tulisi allokoida toiminta-alueille ja miten niille tulisi valita tankkaus- ja aseistustukikohdat, jotta toiminta-alueille annetut voimavaatimukset (parvien lukumäärät) toteutuisivat parhaiten?*

- Optimiratkaisun määrittäminen haasteellista
  - Ajasta riippuvat vaatimukset
  - Parvien aiempien ajanhetkien toiminta vaikuttaa niiden tulevaan käytettävyyteen
  - ⇒ Analyttisen optimointitehtävän formulointi ja ratkaiseminen mahdotonta
  - ⇒ Ongelman tarkasteluun on olemassa simulointityökalu

# Ratkaisuheuristiikka

- Simulointityökalussa heuristiikka ”tarpeeksi hyvän” ratkaisun löytämiseen
- Parvet allokoidaan toiminta-alueille
  - 1) saapumisajan
  - 2) tehtävän enimmäiskeston
  - 3) tankkausajanperusteella
- Lukuisia muuttujia: toiminta-alueiden prioriteetit, polttoaineiden kulutus ja saatavuus, tehtävissä vaadittu aseistus...

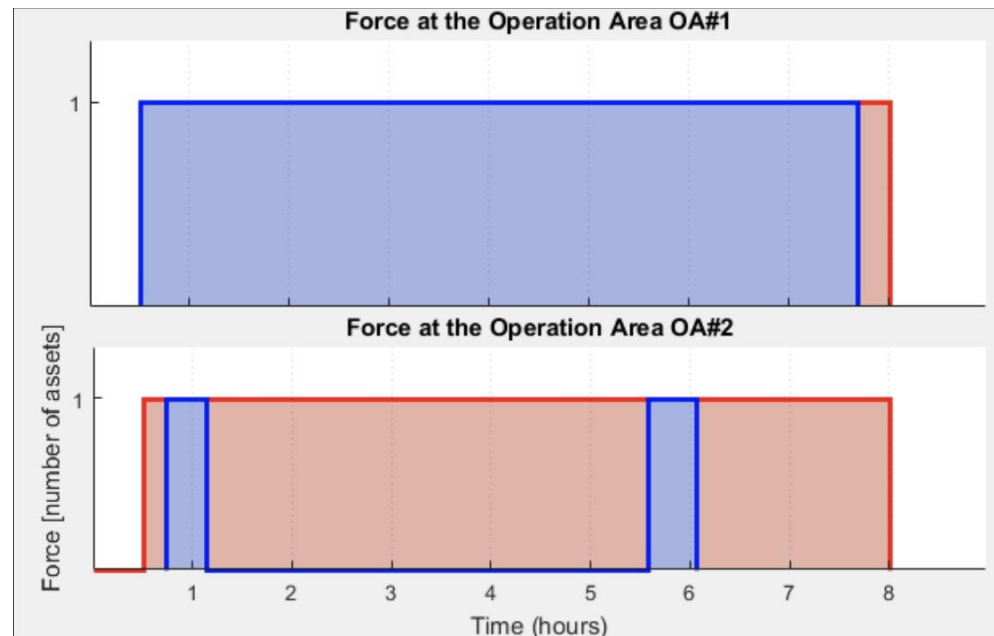


# Esimerkkiratkaisu

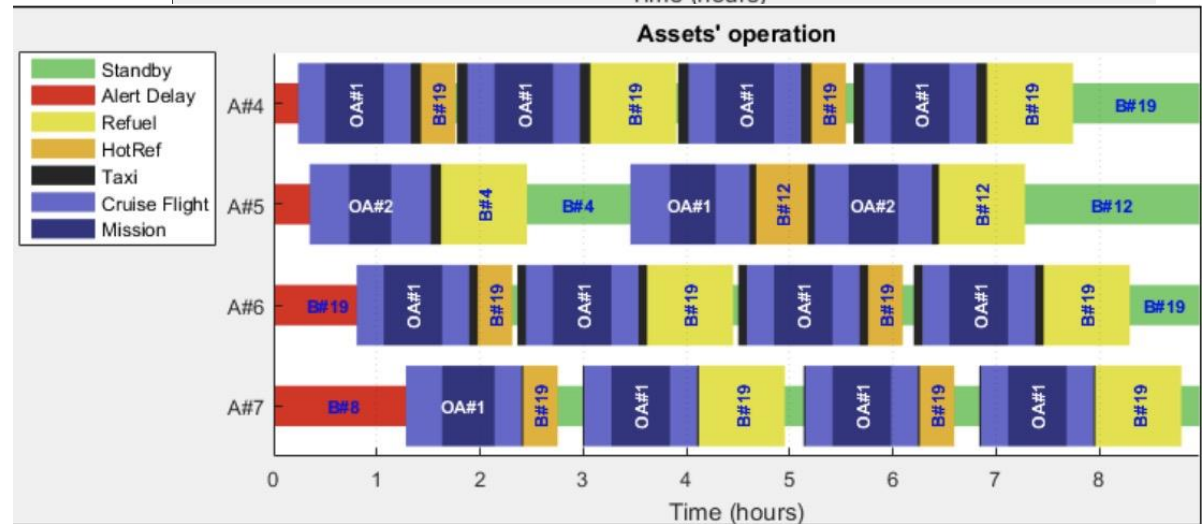
## Alkutilanne:

- Kaksi toiminta-aluetta, joista toisella korkeampi prioriteetti
- Yksi tukikohta
- Neljä parvea tukikohdassa

Toiminta-alueiden täyttöaste ajan suhteen

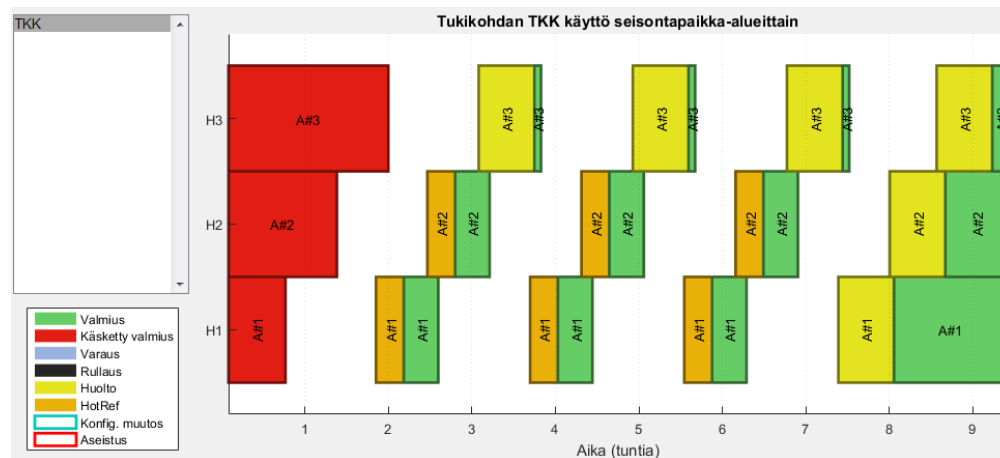


Parvien tila ajan suhteen



# Ratkaistava ongelma

- Simulointityökalussa tukikohdat ja niiden huoltopaikat käytävissä aina parvien aseistukselle ja tankkaukselle
- Toteutetaan työkaluun toiminnallisuus, joka mahdollistaa tukikohtien ja niiden huoltopaikkojen huoltokyvyn eli tankkaus- ja aseistuskyvyn heikentämisen (tankkauksen ja aseistuksen kesto n-kertaa suurempi) tai poistamisen annetuille aikaväleille
- Tarkastellaan tukikohtien huoltokyvyn heikentymisen vaikutusta käytössä olevaan hävittäjävoimaan erilaisissa skenaarioissa
- Sovelluskohteita: Liikkuvat tukikohdat, vaurioitumisen kuvaaminen

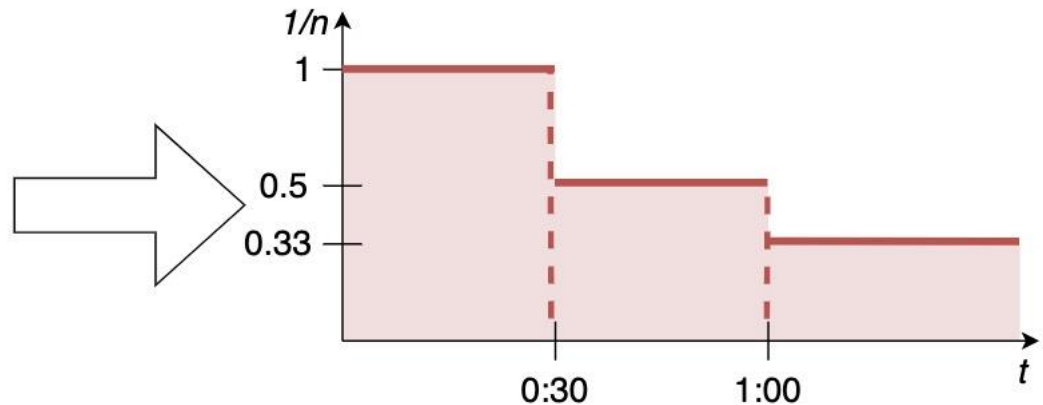


# Huoltoaikamalli

- Ratkaisee huollon keston, kun annetaan huollon alkamishetki
- Tunnistaa jos huoltopaikka on suljettu huollon aikana
- Huoltopaikkojen huoltokyvyn muutoksia kuvataan funktiona ajan suhteen, esim. kerroin  $n=2 \rightarrow$  huollon kesto 2-kertainen tuona aikavälinä

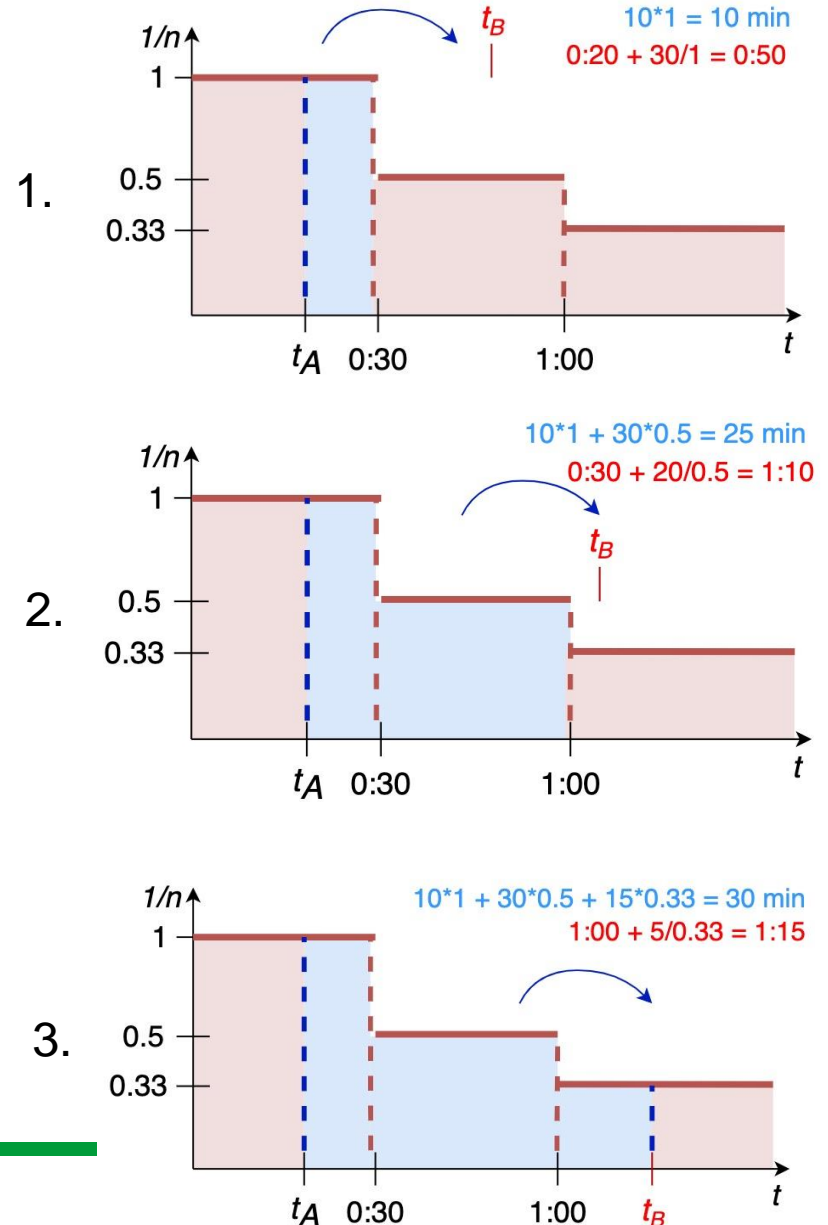
Huoltokyvyn muutokset

Alkuhetki	Loppuhetki	Kerroin n
0:00	0:30	1
0:30	1:00	2
1:00	10:00	3



# Huoltoaikamalli

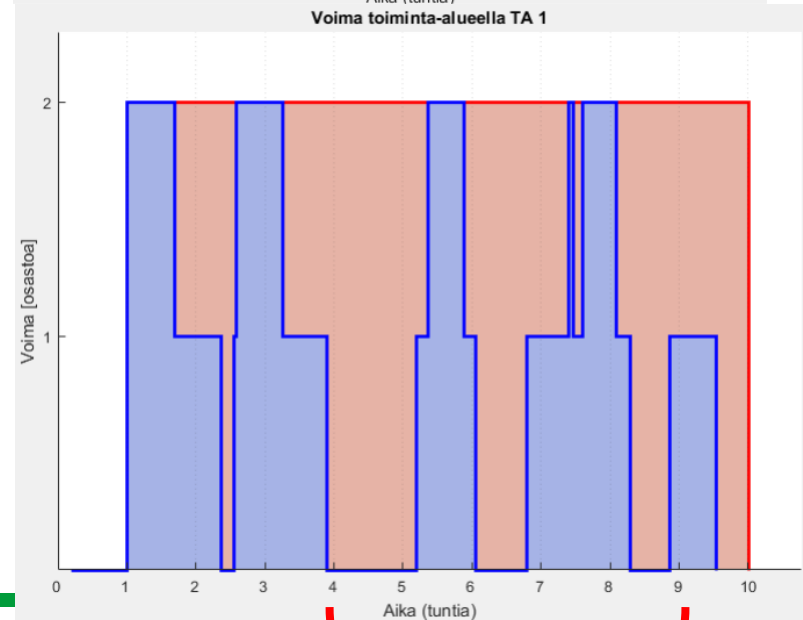
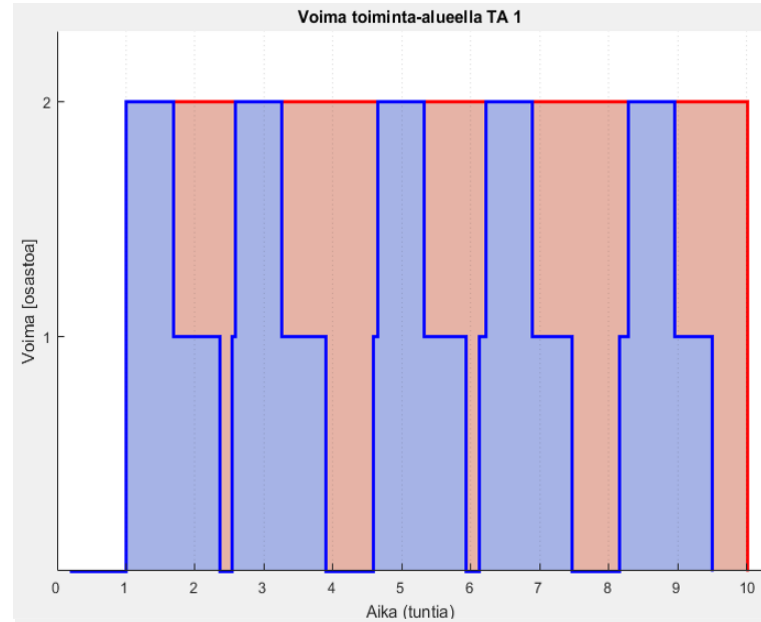
- Toimintaperiaate: summataan ajanjaksoissa tehtävän huollon ”määriä” (suorakulmioiden pintaaloja), kunnes kasassa on tarpeeksi parven huoltoon
- Huollon loppuhetki  $t_B$  siirtyy joka summauksella, määrittää siirrytäänkö seuraavaan ajanjaksoon vai ei
- Esimerkki:  $t_A$  on huollon alkamishetki 0:20, huoltoa on tehtävä 30 min edestä kun  $n=1$ . Ratkaisuna huollon kesto 55 min



# Esimerkki

## Alkutilanne:

- Yksi toiminta-alue
  - Yksi tukikohta
  - Kolme parvea tukikohdassa
- 
- Kasvatetaan huollon kestoä kolminkertaiseksi ( $n=3$ ) aikavälillä 4:00 – 9:00
  - Yllä tuotettu voima ilman huoltokyvyn muutoksia, alla niiden kanssa

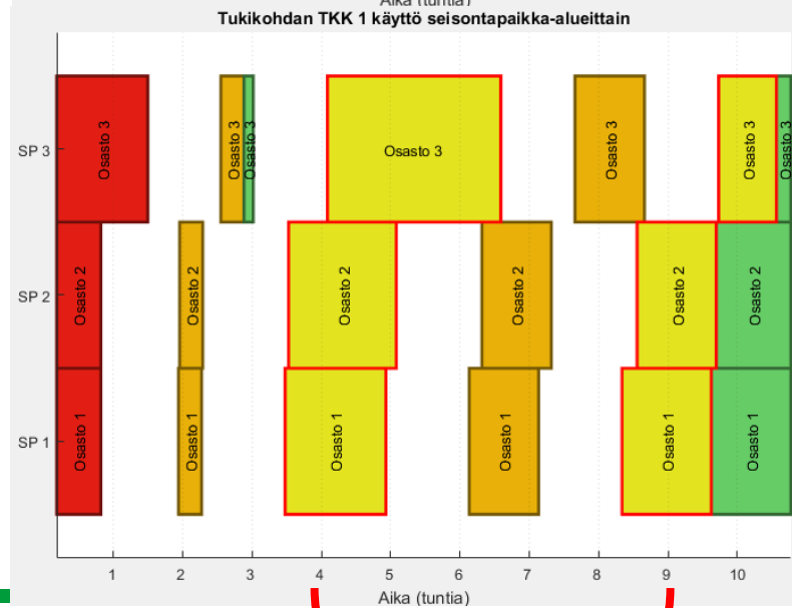
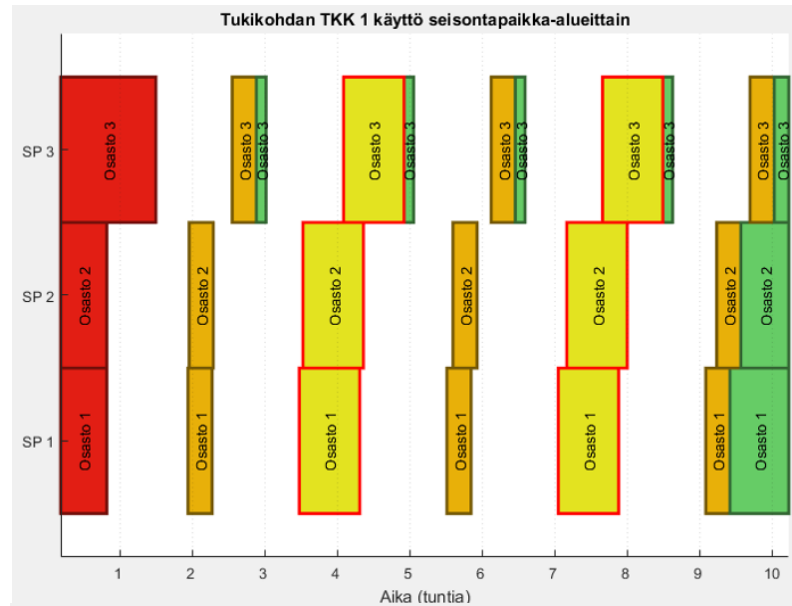




# Esimerkki

## Alkutilanne:

- Yksi toiminta-alue
  - Yksi tukikohta
  - Kolme parvea tukikohdassa
- 
- Yllä huoltopaikkojen tilat ilman huoltokyvyn muutoksia, alla niiden kanssa
  - Alkuperäinen huoltoaika 50 min

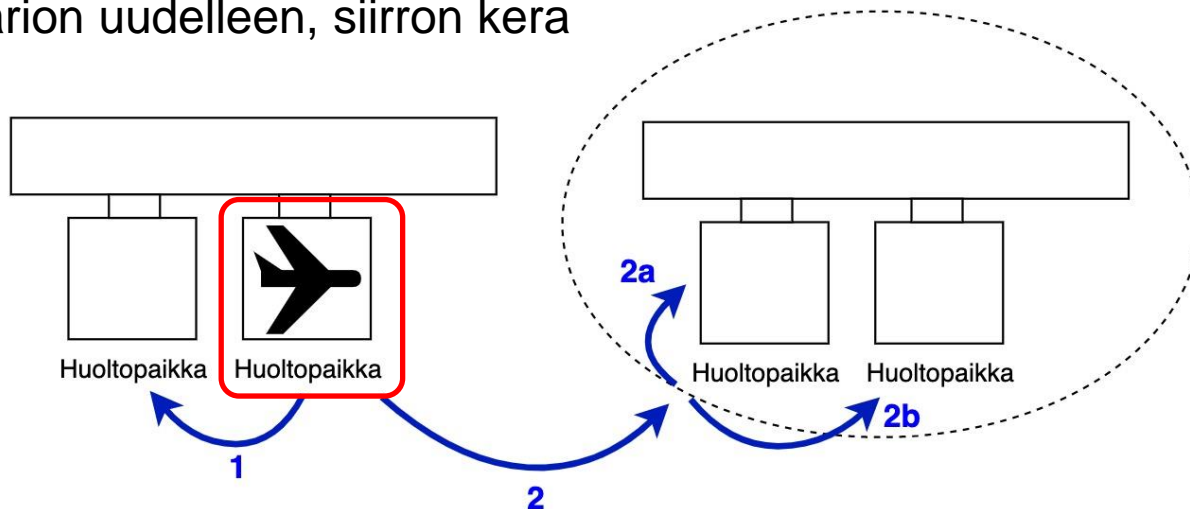


# Siirtomalli

- Huoltoaikamalli ei voi estää tilanteita, joissa parvi uhkaa jäädä valmiuteen sulkeutuvalla huoltopaikalla
- Siirtomalli tunnistaa nämä tilanteet ja siirtää parven toiselle huoltopaikalle tarvittaessa
- Siirron hyvyttä voi punnita sillä, kuinka hyvän skenaarion ratkaisun siirto tuottaa (voima toiminta-alueilla)
- Koska siirtomalli toimii erillään simulointityökalusta, potentiaalisten siirtojen vaikutuksia ei voida tarkastella → huoltopaikka, jonne parvi siirretään, on valittava heuristisesti

# Siirtomalli

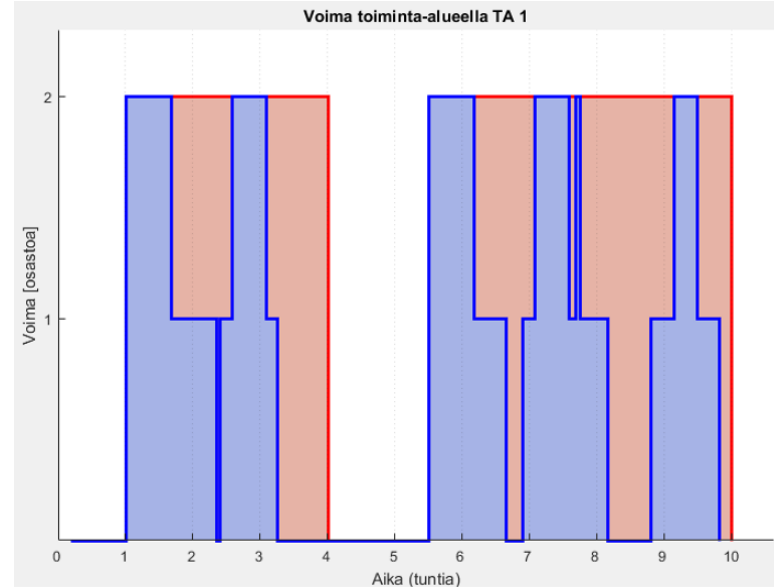
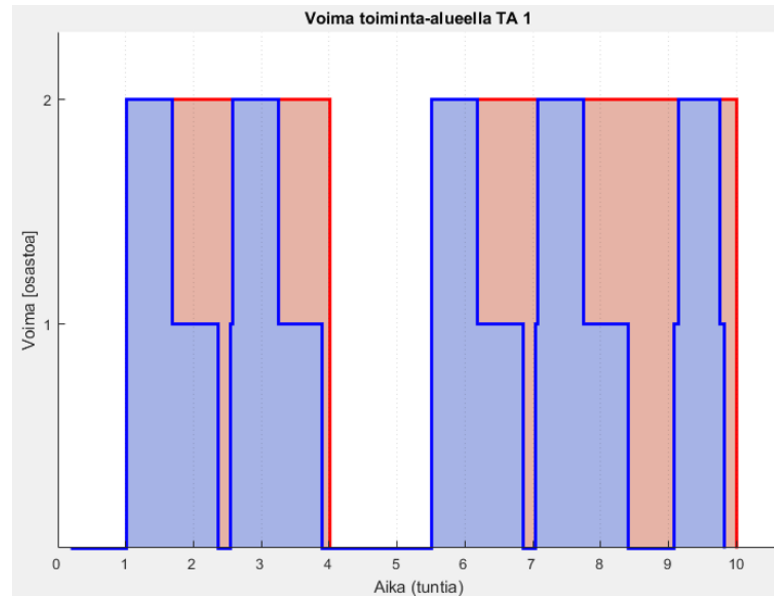
- Parvi siirretään sinne, jossa se on mahdollisimman aikaisin taas käytettävissä
- Käy ensin läpi saman tukikohdan huoltopaikat, sitten muiden tukikohtien
- Ottaa huomioon huoltopaikan vapautumishetken sekä lento-, rullaus- ja tankkausajat
- Tehtävä siirto tallennetaan skenaarioon ja simulointityökalu ratkaisee skenaarion uudelleen, siirron kera



# Esimerkki

## Alkutilanne:

- Yksi toiminta-alue
  - Kaksi tukikohtaa, toinen maantieteellisesti kauempana toiminta-alueesta
  - Kolme parvea tukikohdassa
- 
- Toiminta-alueen voimavaatimus keskeytetty ajavälille 4:00 – 5:30
  - Yksi huoltopaikka suljettu aikavälillä 5:00 – 9:00, tämä pakottaa yhden osaston siirtymään



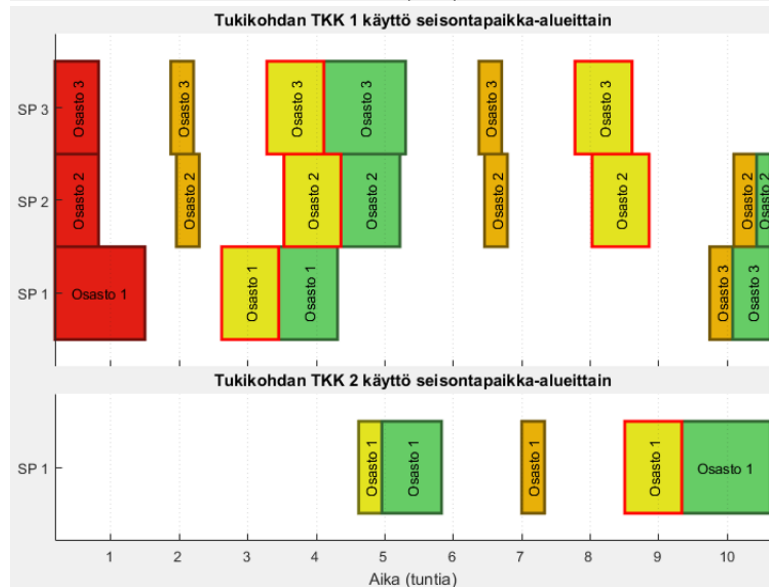
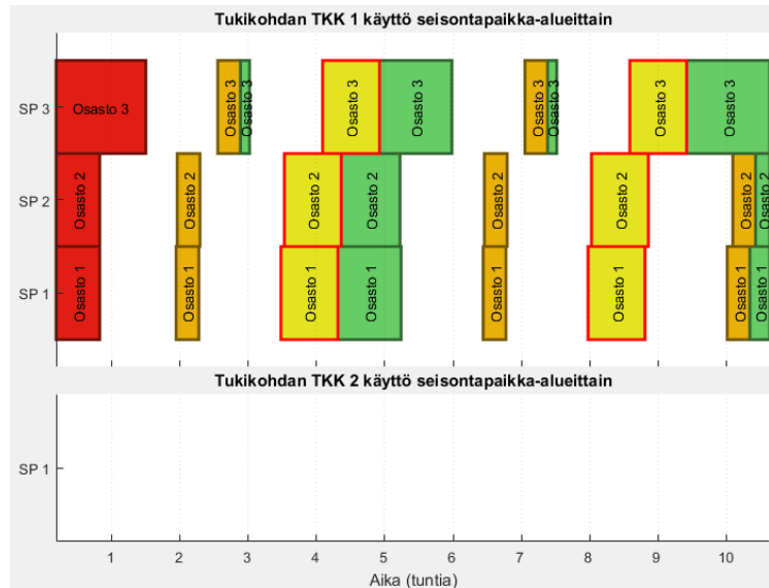
Yllä tuotettu voima ilman huoltopaikan sulkua, alla sen kanssa

# Esimerkki

## Alkutilanne:

- Yksi toiminta-alue
- Kaksi tukikohtaa, toinen maantieteellisesti kauempana toiminta-alueesta
- Kolme parvea tukikohdassa

- Tukikohdan TTK1 muut huoltopaikat varattu, joten siirto toiseen tukikohtaan
- Parvi tankataan kun se saapuu määränpäähän



Yllä parvien tilat ilman huoltopaikan sulkua, alla sen kanssa

# Yhteenveto

## Päätulokset

- Huoltoaikamallin avulla simulointityökalu voi ottaa huoltokyvyn muutokset huomioon allokointiongelmia ratkaistaessa
- Siirtomalli takaa, ettei parvia jää valmiuteen sulkeutuville huoltopaikoille
- Yhdessä mallit mahdollistavat huoltokyvyn muutoksia sisältävien allokointiongelmiin ratkaisemisen

## Jatkotutkimus

- Huoltopaikan tuhoutuminen annettuna ajanhetkenä → huoltopaikalla mahdollisesti olevan parven tuhoutuminen
- Siirtomallin heuristiikan kehittäminen

# Tietolähteet

- Rantala, E. 2018. Analyzing Defense Capability of a Fleet of Military Aircraft Through Simulation. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Teknillinen fysiikka ja matematiikka.
- M. Harju, J. Liesiö, K. Virtanen. Spatial multi-attribute decision analysis: Axiomatic foundations and incomplete preference information. European Journal of Operational Research, 275(1):167-181, 2019.
- C. A. Floudas. Nonlinear and Mixed-Integer Optimization: Fundamentals and Applications. Oxford University Press, Oxford, Iso-Britannia, 1995.
- P. Brucker. Scheduling Algorithms. Nr. 4, Springer, Berliini, Saksa, 2004.