



Aalto-yliopisto  
Sähkötekniikan  
korkeakoulu

# ELEC-C1110

## Automaatio- ja systeemi- tekniikan perusteet

Luento 9

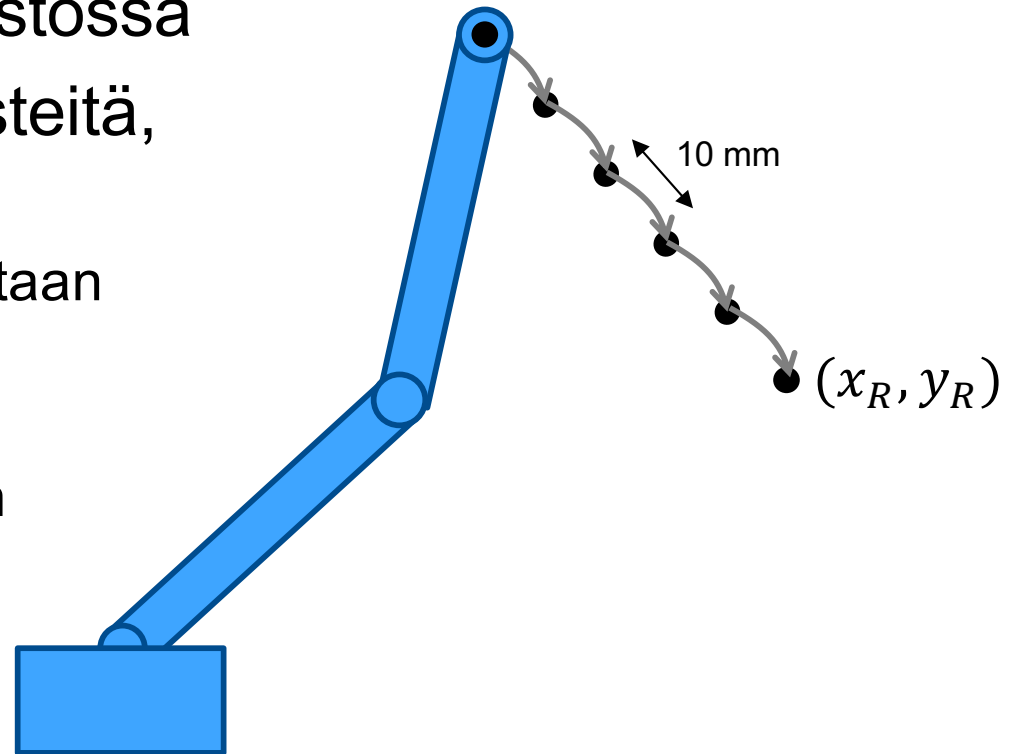
Kaskadisäätö

”Säädin ohjaa säädintä”

18.3.2024, Joni Pajarinen

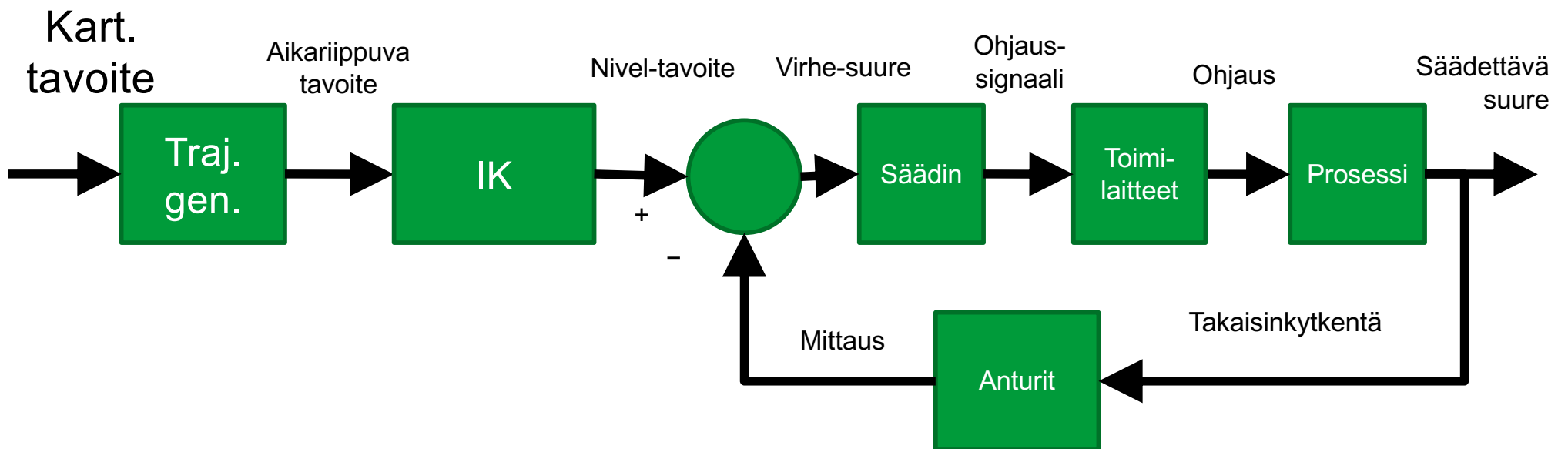
# Viime kerrasta

- Reittipisteet reitin ohjausta varten karteesisessa koordinaatistossa
- Lasketaan tiheästi reittipisteitä, joiden kautta kuljetaan
  - Kullekin reittipisteelle lasketaan nivelkulmat
  - Säädetään nivelkulmat seuraavaan reittipisteeseen



# Viime kerrasta: systeemikaavio – rajoitettu karteellinen liike

- Trajektorigeneraattori ohjaa karteesisia koordinaatteja

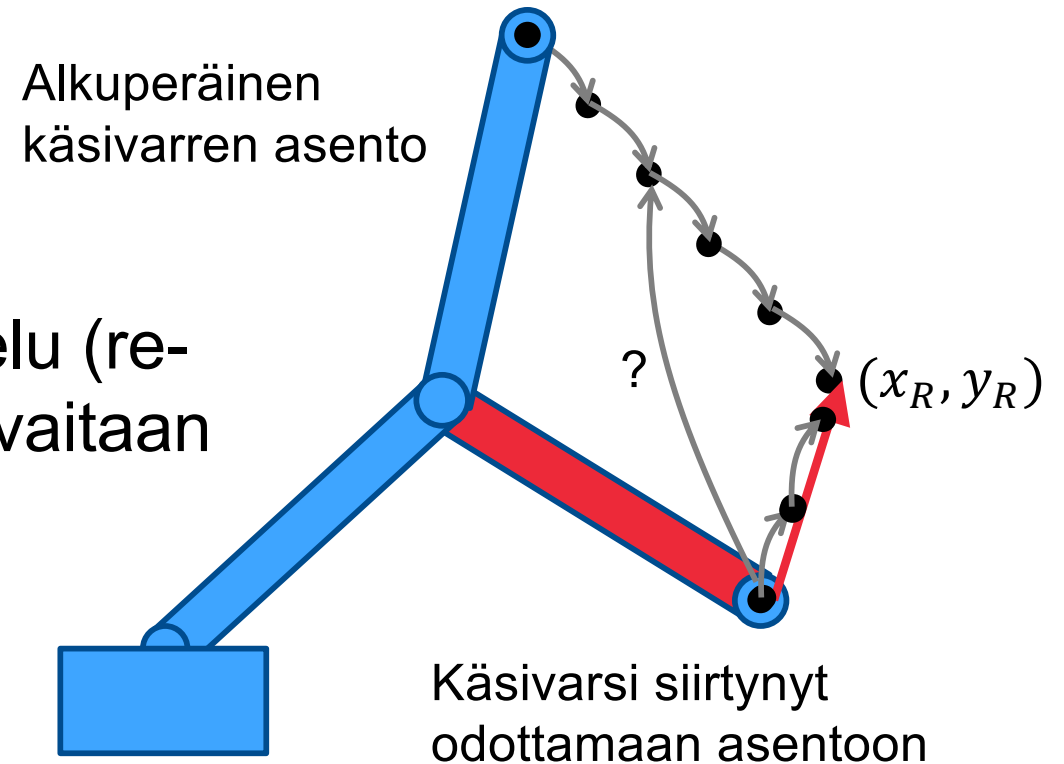


# Mitä jos robotti joutuu yllättävään tilanteeseen?

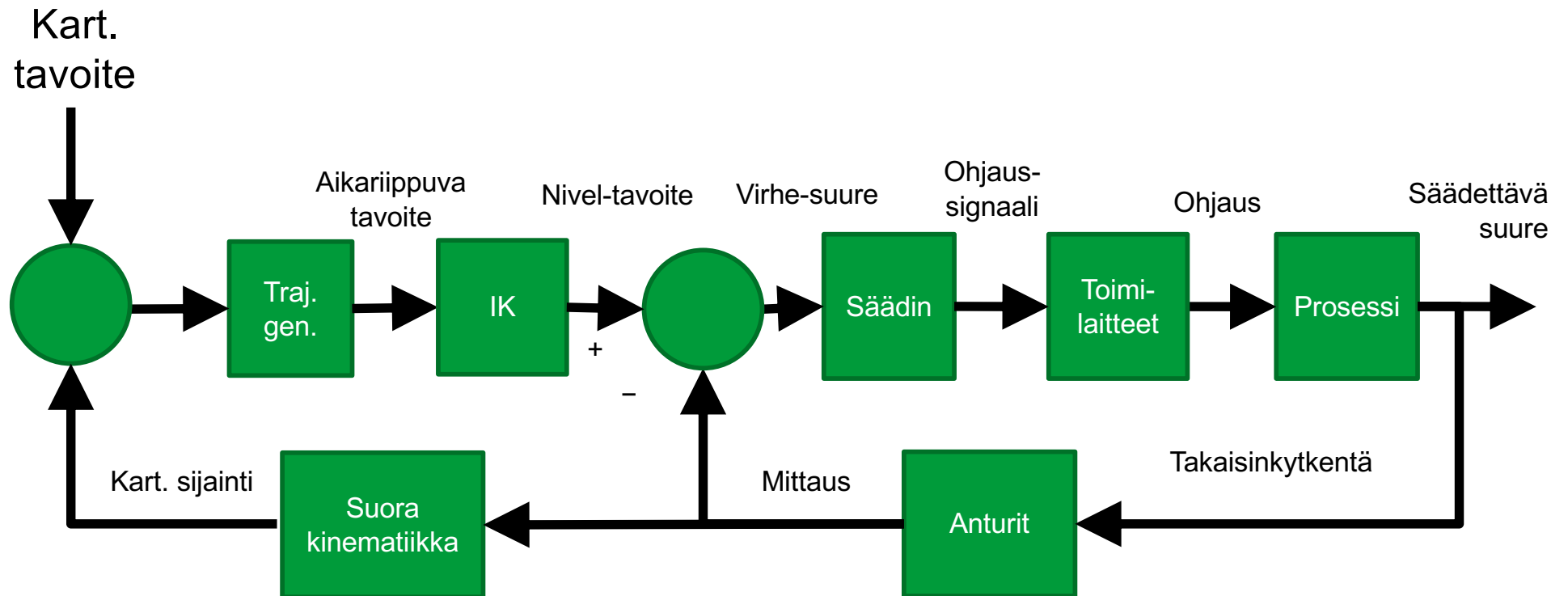


# Miten sopeutua häiriöihin?

- Reitin uudelleen suunnittelu (re-planning), kun muutos havaitaan



# Systememikaavio – rajoitettu karteellinen liike polun uudelleen suunnittelulla



# Yleisemmin: hierarkkinen säätö

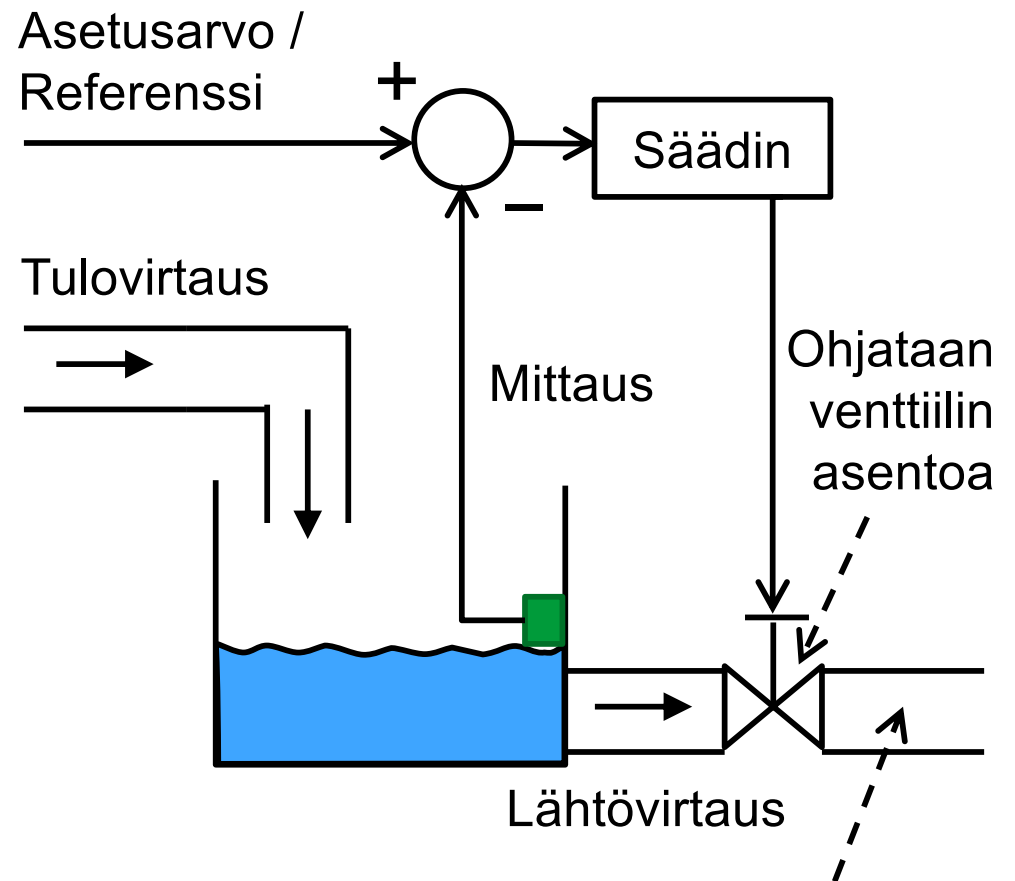
- Robottia voidaan ohjata eri tasoilla:
  - Ylemmän tason tavoitteet: liiku oven luo, avaa ovi, mene ovesta läpi, ...
  - Reitin suunnittelu: reittipisteet kun liikutaan A:sta B:hen
  - Alemman tason säädin säätää nivelvoimia, jotta päästään seuraavaan reittipisteeseen
- *Ohjaus eri aikatasoilla*
- Yleisemmin ohjataan alemman tason säädintä ylemmän tason säätimellä
- Voitaisiinko samalla tavalla asettaa esimerkiksi vesitankin vedenpinnan korkeus säätimellä #1 ja säätää venttiiliä säätimellä #2 vedenpinnan korkeuden mukaan?
- Miksi haluttaisiin tehdä näin?

# Kaskadisäätö



# Esimerkkiprosessi: säiliön pinnankorkeus

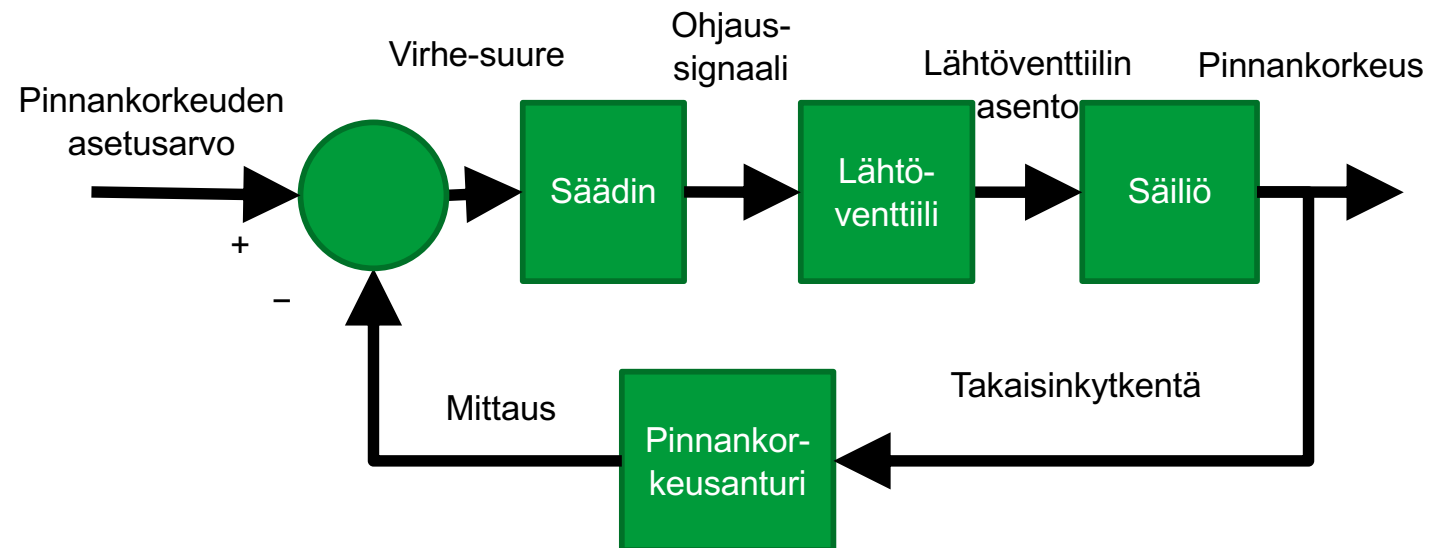
- Huom! Eri prosessi kuin luennolla 6
- Yritetään pitää pinnankorkeus asetusarvossa
- Mitataan säiliön pinnankorkeutta
- Pinnankorkeus = säädettävä suure
- Tulovirtaus voi vaihdella
- Lähtövirtaus riippuu paineesta venttiilin yli
- Paine venttiilin lähtöpuolella voi vaihdella



Paine venttiilin lähtöpuolella voi vaihdella vaikuttaen lähtövirtaukseen

# Systememikaavio – vesitankin pinnankorkeus

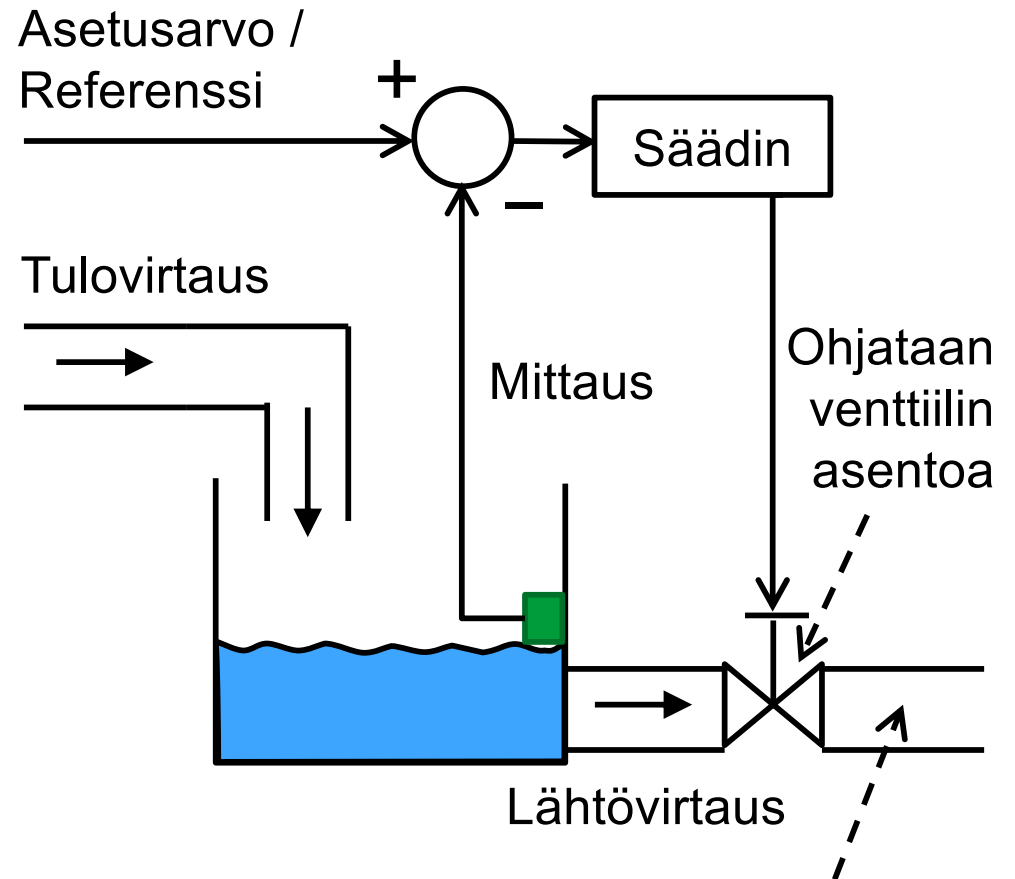
- Mitataan pinnankorkeutta
- Säädin ohjaa lähtöventtiilin asentoa



# Olisiko hierarkkisesta säädöstä hyötyä?

- Tulovirtaukseen ei voida vaikuttaa
- Lähtövirtausta voitaisiin säätää erikseen?
  - Vedenpinnanmittaus ei välttämättä suoraan anna nopeaa tietoa lähtövirtauksesta
  - Lähtövirtauksen ohjaus voisi olla nopeampaa

➔ Mitataan ja säädetään lähtövirtausta erikseen

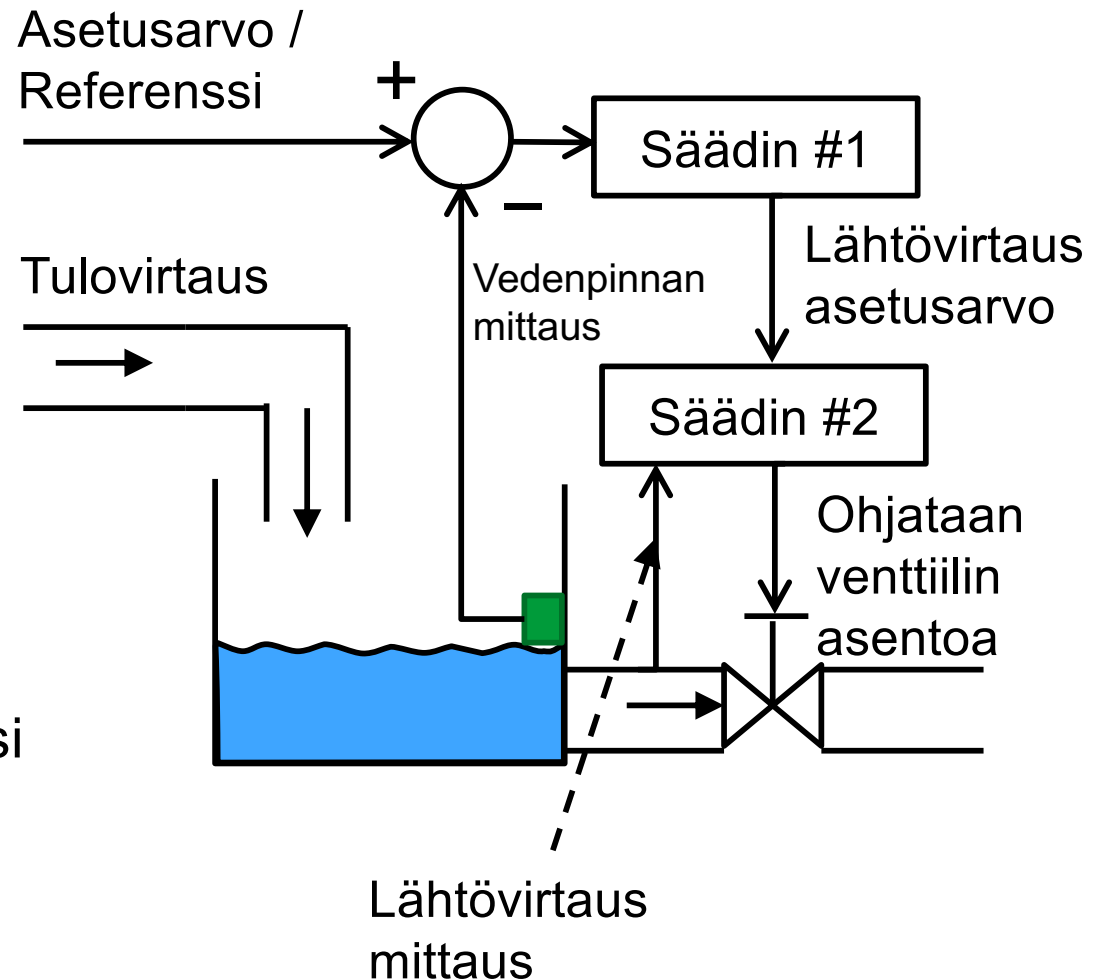


Paine venttiilin lähtöpuolella voi vaihdella vaikuttaen lähtövirtaukseen

# Olisiko hierarkkisesta säädöstä hyötyä?

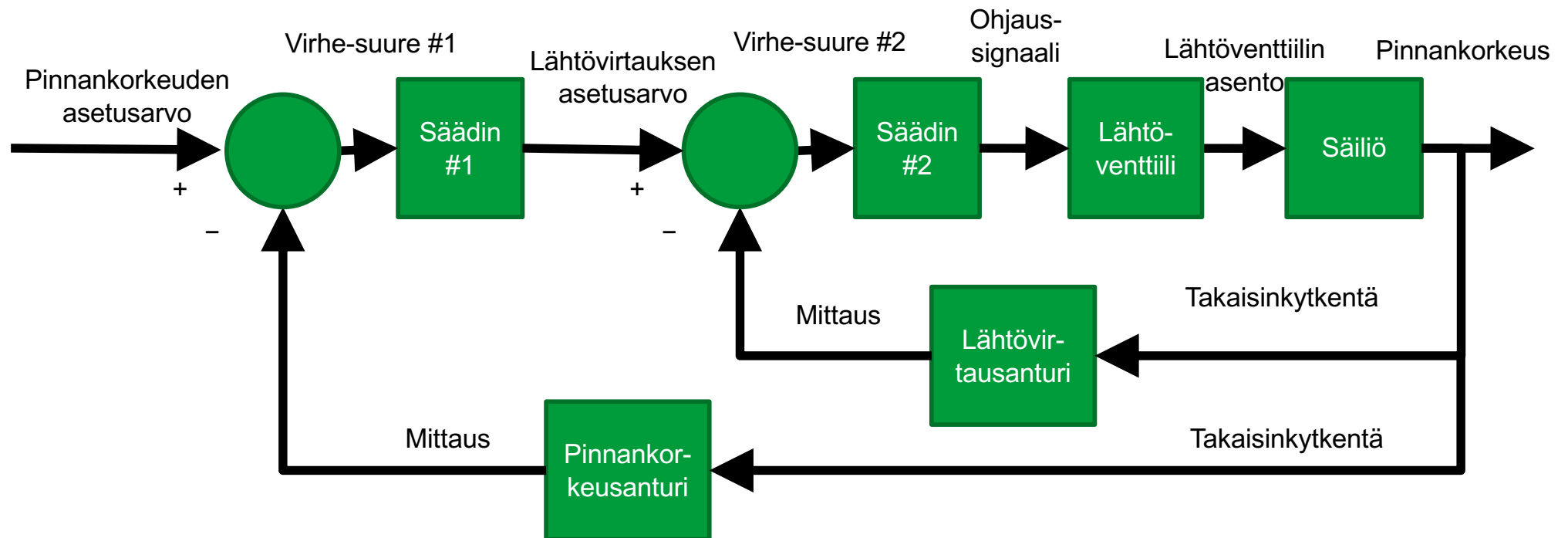
- Tulovirtaukseen ei voida vaikuttaa
- Lähtövirtausta voitaisiin säätää erikseen?
  - Vedenpinnanmittaus ei välttämättä suoraan anna nopeaa tietoa lähtövirtauksesta
  - Lähtövirtauksen ohjaus voisi olla nopeampaa

 **Mitataan ja säädetään** lähtövirtausta erikseen



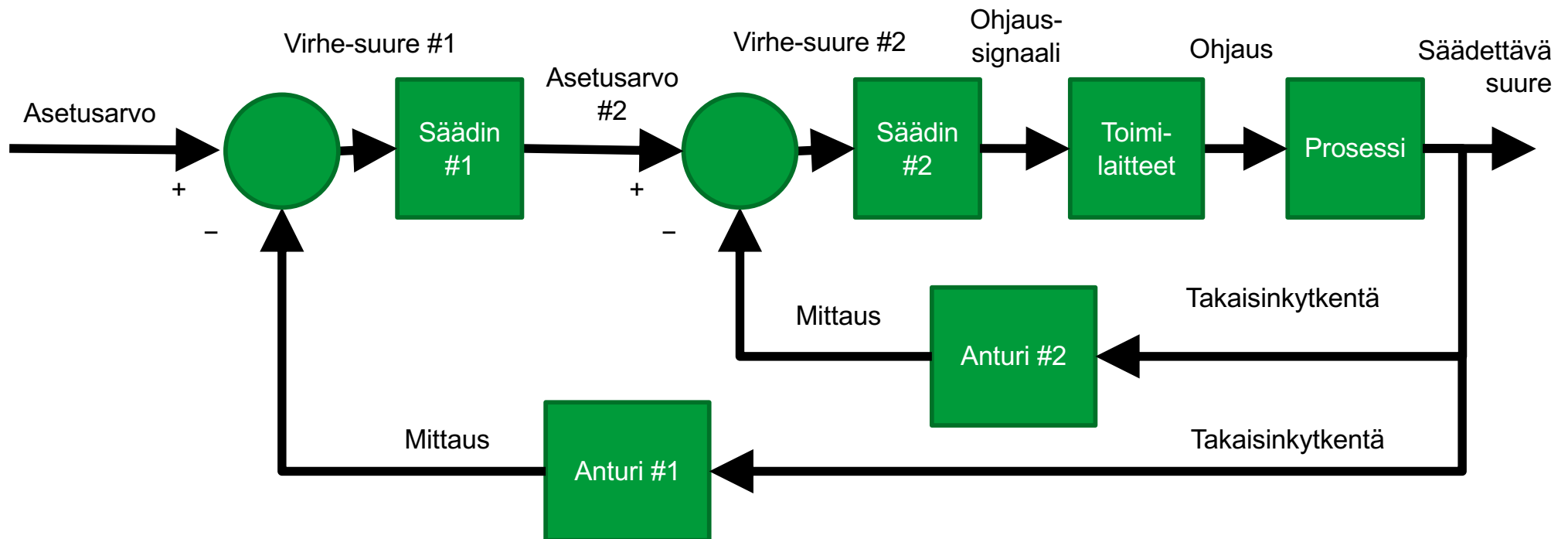
# Systemikaavio – pinnankorkeuden kaskadisäätö

- **Kaskadisäätö:** takaisinkytketty säätö sarjassa
- Yleensä ”sisempi” säätösilmukka toimii korkeammalla taajuudella kuin ”ulompi” säätösilmukka



# Systemikaavio – kaskadisäätö

- Kaskadisäätö: takaisinkytketty säätö sarjassa
- Yleensä ”sisempi” säätösilmukka toimii korkeammalla taajuudella kuin ”ulompi”
- Tässä kaksi säätösilmukkaa, mutta voi olla useampia



# Miksi kaskadisäätö?

- Voidaan testata ja kehittää osia erillisinä:
  - Säiliöesimerkissä voidaan kehittää ja testata lähtövirtauksen säätö erikseen
  - Sähkömoottoreilla voi olla omat sisäiset säätimensä: annetaan asetusarvona esimerkiksi pyörimisnopeus
- Voidaan käyttää ”sisempää” säädintä nopealla korkeammalla taajuudella kuin ”ulompaa”. Usein suositellaan 3x tai 5x nopeampaa sisäistä säädintä
- Sisempi säätösilmukka voi usein olla aggressiivisempi ja pelkkä P-säädin voi riittää, jos ulompi säädin on PID-säädin, joka poistaa poikkeamat ja kohinan

# Kaskadisäätö säiliöprosessissa: esimerkkisäätimet kaavoina

- Ulompi säätösilmukka: PID-säädin lähtövirtauksen asetusarvon  $f_O^A$  ohjaukseen, kun vedenpinnan korkeuden asetusarvo on  $h_A(t)$  ja mitattu vedenpinnan korkeus on  $h(t)$  :

$$f_O^A(t) = k_{P1}e_1(t) + k_I \int_0^t e_1(t) dt + k_D \frac{d}{dt} e_1(t),$$

$$e_1(t) = h_A(t) - h(t)$$

- Sisempi säätösilmukka: P-säädin lähtövirtausventtiilin asennon muutokseen  $u(t)$ , kun mitattu lähtövirtaus on  $f_O(t)$  :

$$u(t) = k_{P2}e_2(t), \quad e_2(t) = f_O^A(t) - f_O(t)$$



# Lopuksi: kaskadisäätö robottikäsiarrella vs. säiliön pinnankorkeuden säätö

- Robottikäsiarrella
  - Voidaan virittää PID-säädin viemään robottikäsiarri nivelkulmista toisiin, kun nivelkulmien muutos on pieni. Ei tarvitse käyttää liian suuria vääntömomenteja
- Säiliön pinnankorkeuden säätö
  - Ulommassa säätösilmukassa pinnankorkeuden mittaus ja lähtövirtauksen ohjaus eliminoi poikkeamat ja kohinan
  - Sisemmässä säätösilmukassa lähtövirtauksen mittaus ja lähtövirtausventtiilin ohjaus reagoi nopeasti paineen muutokseen lähdössä

# Yhteenveto

- Yllättäviin muutoksiin voi reagoida nopeasti jakamalla säätö nopeaan ja hitaaseen säätöön
- Kaskadisäädössä useampi sisäkkäinen säädin
  - Nopea säädin reagoi nopeasti muutoksiin
  - Hidas säädin hoitaa pitemmän aikavälin säädön
- Robotiikassa luonnollisesti nopeampaa (nivelkulmien väännöt) ja hitaampaa säätöä (reitin laskenta, korkean tason tehtävä)

# Ensi kerralla

- Kertaus kaikista kurssin luennoista