



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

ELEC-C1110

Automaatio- ja systeemi- tekniikan perusteet

Luento 5

Toimilaitteet ja näytteidenotto

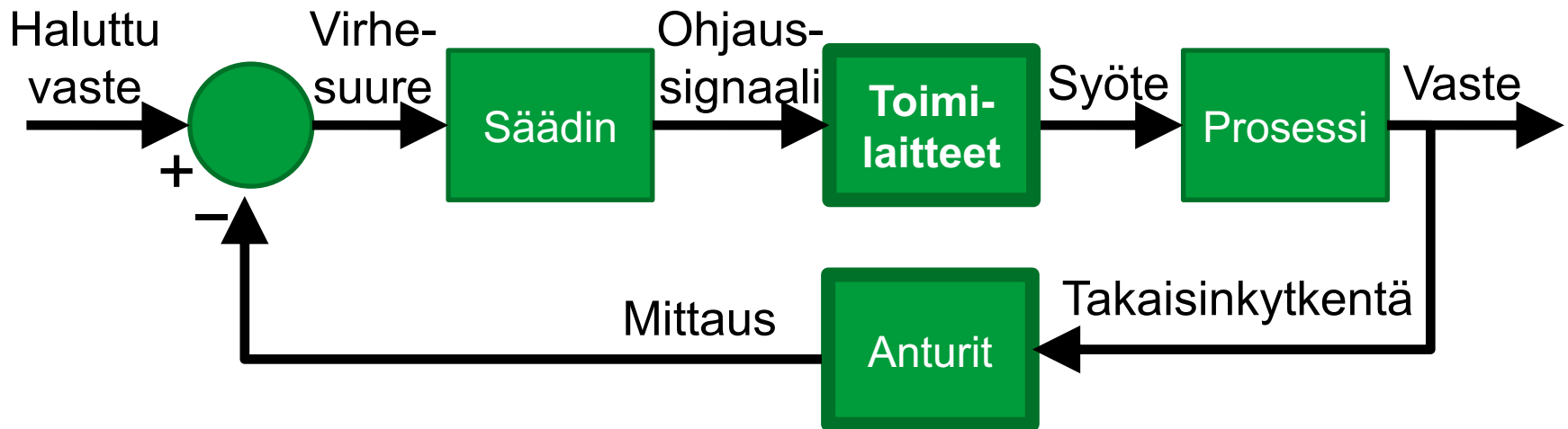
Joni Pajarinen, 13.2.2023

Tämän luennon aiheet

- Viimeksi:
 - Mallin oppiminen näytteistä
 - Epälineaarisen mallin oppiminen, gradienttimenetelmä, kantafunktiomalli, neuroverkko
 - Valmiin ja tuntemattoman mallin yhdistäminen
- Tänään:
 - Toimilaitteiden mallinnus
 - Näytteenoton vaikutukset
 - Toimilaite, prosessi, näytteenotto yhdessä

Tämän luennon aiheet

- Teema: kohti kokonaisen systeemin mallintamista
 - Näytteenoton vaikutukset
 - Toimilaitteiden mallinnus
 - Esimerkki systeemin mallintamisesta



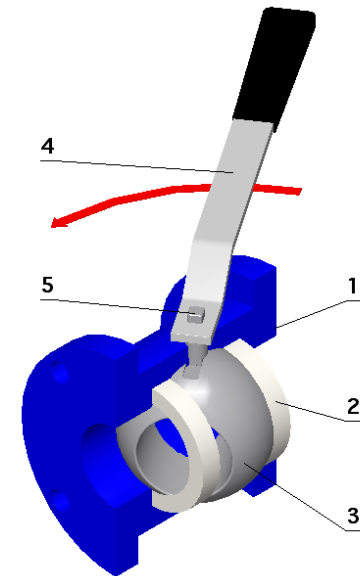
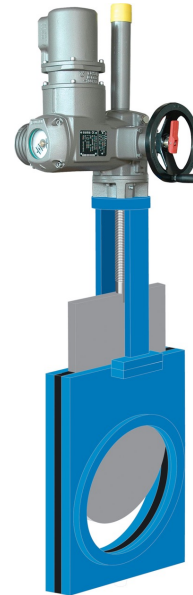
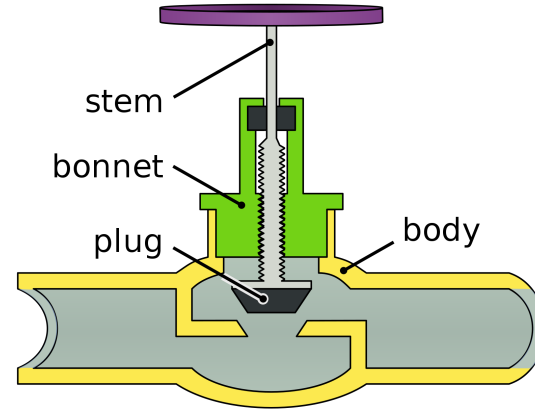
Toimilaitteiden mallinnus

Toimilaitteet

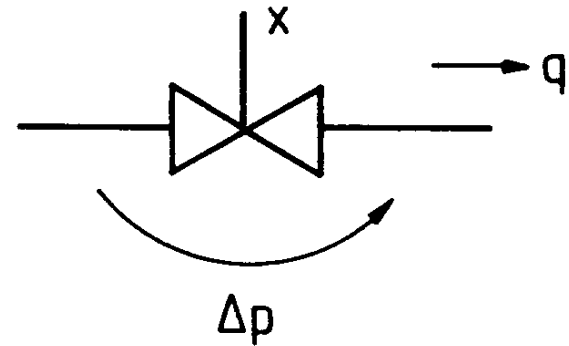
- Yleisin toimilaitte teollisuusautomaatiossa on *venttiili*
- Varsin yleisiä ovat myös erityyppiset *moottorikäytöt*
 - Sisältäen myös niihin kytketyt pumput
- Isohko joukko muita toimilaitteita
 - Mm. lämmitysvastukset jne.

Prosessiventtiilit

- Yksi- ja kaksi-istukkaventtiilit
- Lämpäventtiilit
- Palloventtiilit
- Kaksi- ja kolmitieventtiilit



Prosessiventtiilit

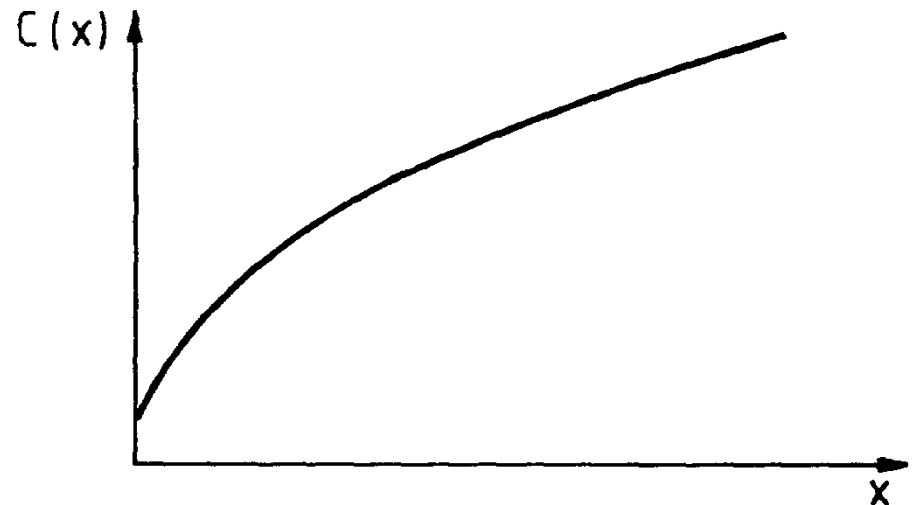


- Venttiilin läpivirtaus noudattaa Bernoullin lakia

$$q = C(x)\sqrt{\Delta p}$$

- ominaiskäyrä $C(x)$:
- lineaarinen $C(x) = Cx$
- neliöllinen $C(x) = Cx^2$
- tasaprosenttinen

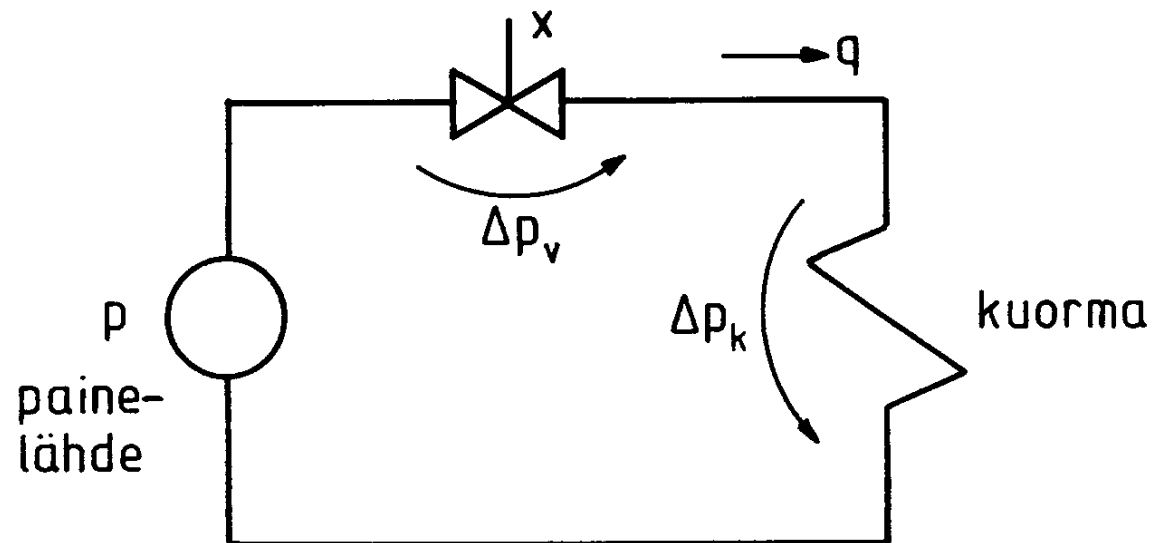
$$\frac{dx}{dq} q = \frac{1}{\alpha} \rightarrow \alpha q = \frac{dq}{dx} \rightarrow C(x) = e^{\alpha x}$$



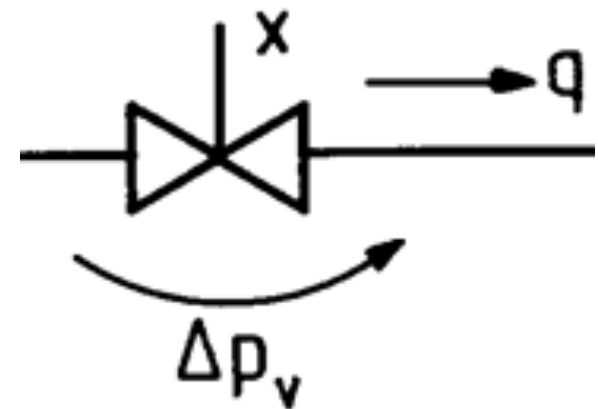
Prosessiventtiilit

- Käytännön tilanne: Venttiili kytketty virtauspiiriin, jossa lisäksi painelähde ja kuorma
 - Kuorma esim. lämmönvaihdin tai hydraulinen sylinteri
- Piirille pätee yhtälö

$$P = \Delta p_v + \Delta p_k$$



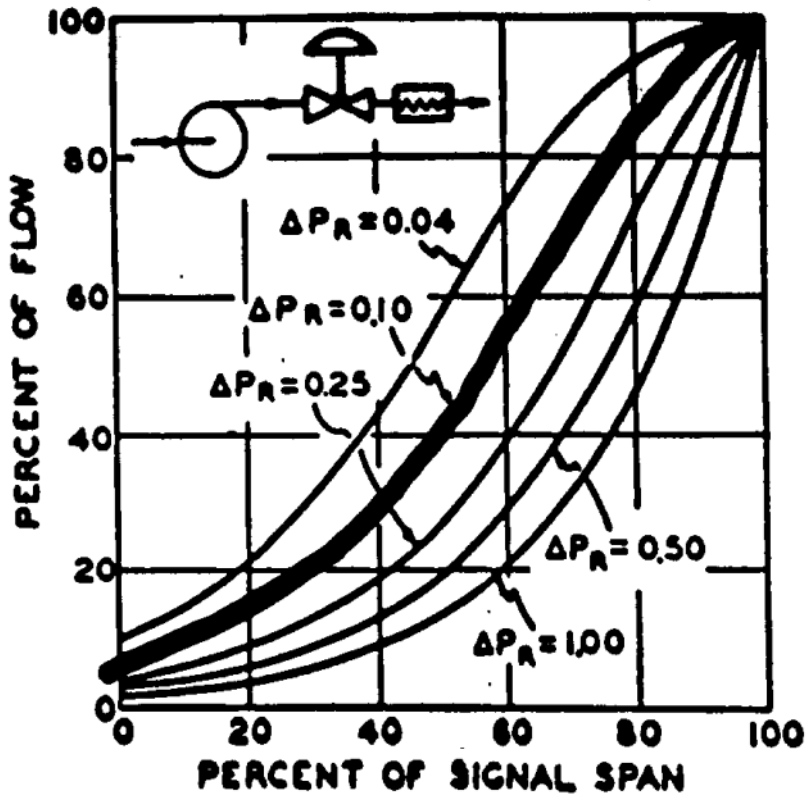
Prosessiventtiili



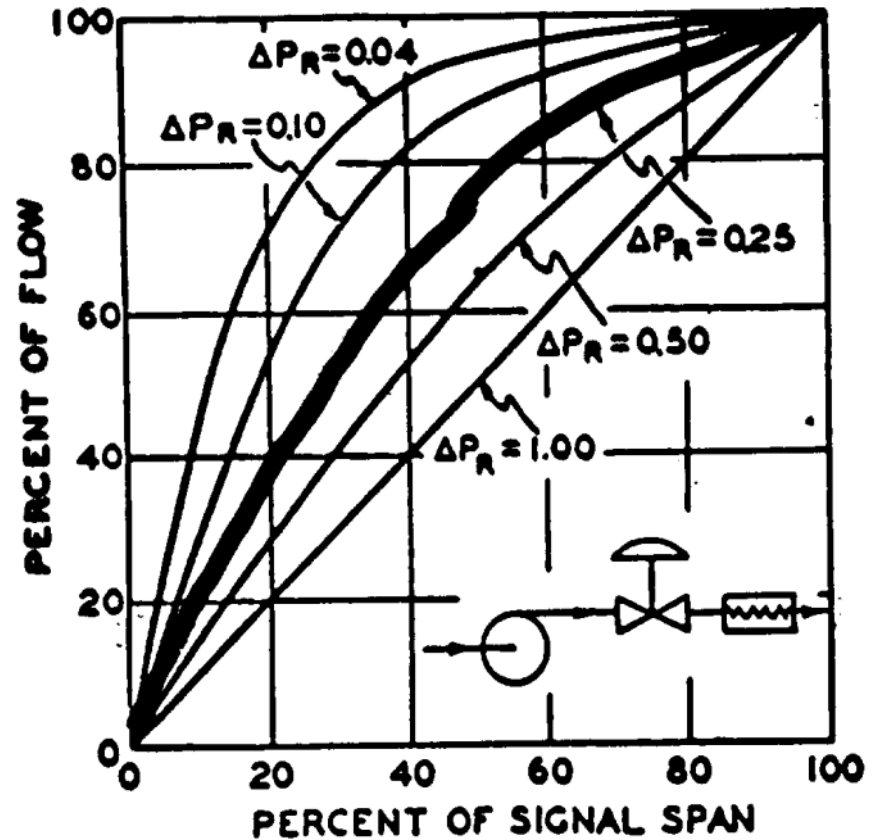
- Kun virtaus muuttuu paine-ero Δp_v ei pysy vakiona
 - lineaarinen venttiili ei ole käytössä useinkaan lineaarinen toimilaite
- Riippuen suhteen $\Delta p_v/p$ suuruudesta lineaarinen venttiili käyttäytyy hyvin eri tavoin
 - yleensä mainittu suhde halutaan pitää pienenä energiahäviöiden välttämiseksi
 - lineaarinen venttiili käyttäytyy tällöin hyvin epälineaarisesti
 - samassa tilanteessa tasaprosenttinen venttiili on suhteellisen lineaarinen

Prosessiventtiili

C(x) tasaprosenttinen



C(x) lineaarinen



Prosessiventtiilin mallinnus

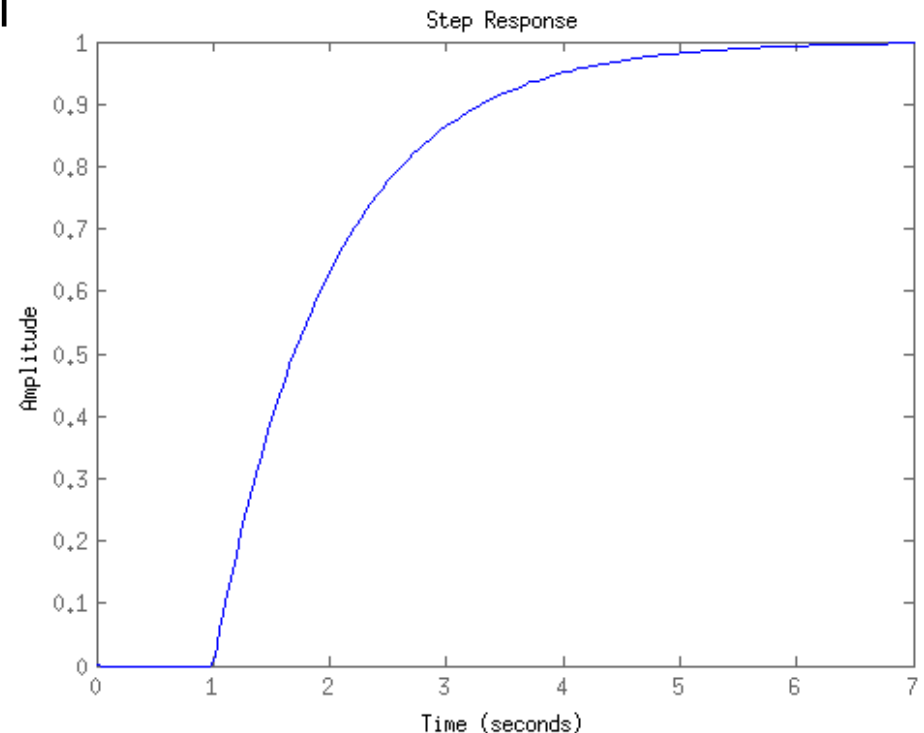
- Venttiilien toimimoottorina käytetään yleensä sähkömoottoreita, pneumaattisia kalvomootoreita tai sähkömagneetteja
- Toimimoottorin dynamiikkaa voi

usein yksinkertaisesti kuvata

$$t \leq t_v: x(t) = 0$$

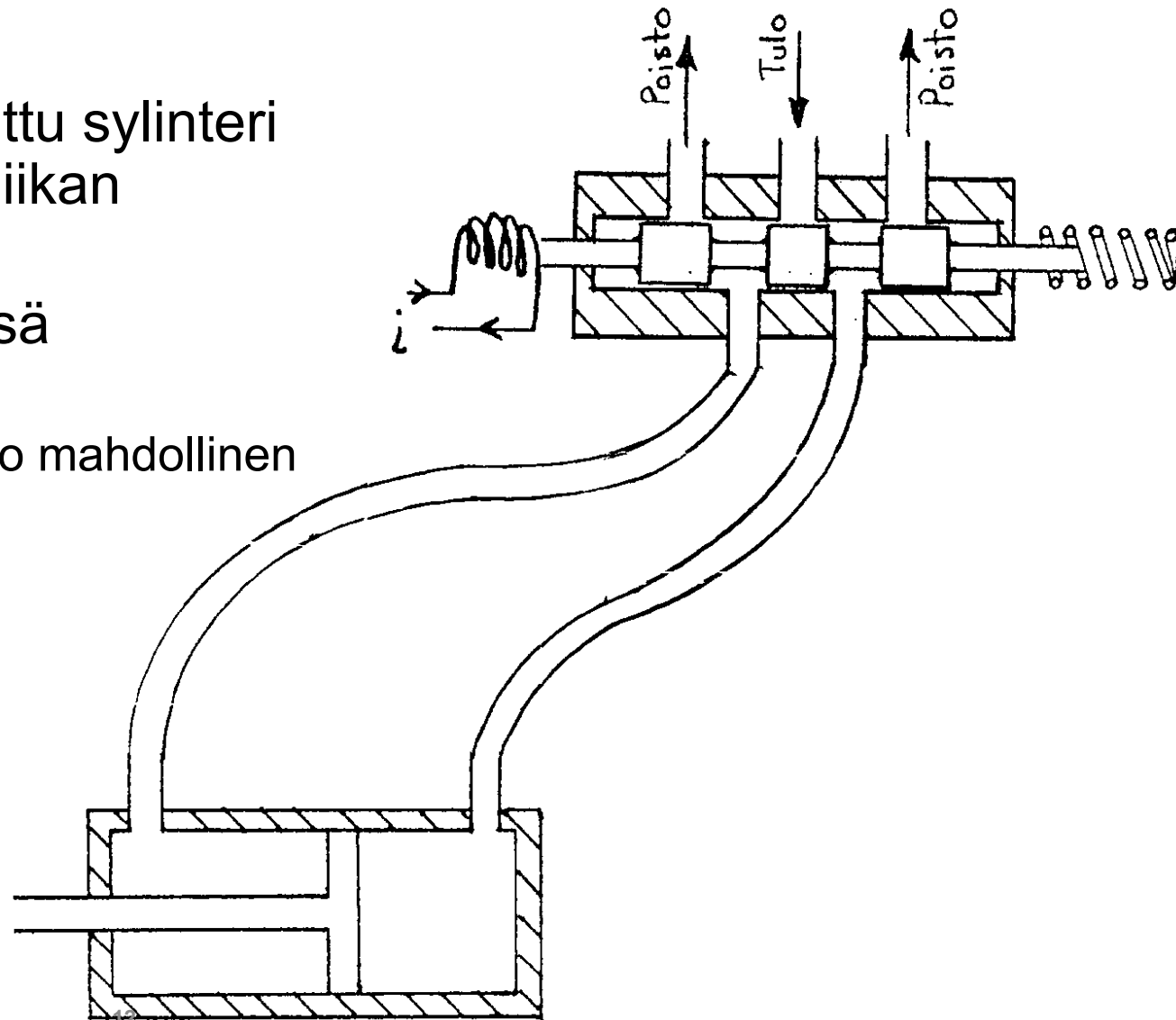
$$t > t_v: x(t) = 1 - e^{(t_v - t)/T_V},$$

missä t_v =viive, T_V =aikavakio



Hydrauliikkaventtiilit

- Venttiilillä ohjattu sylinteri yleisin hydraulikan toimilaite
- Venttiilit yleensä luistityyppiä
 - suunnanvaihto mahdollinen

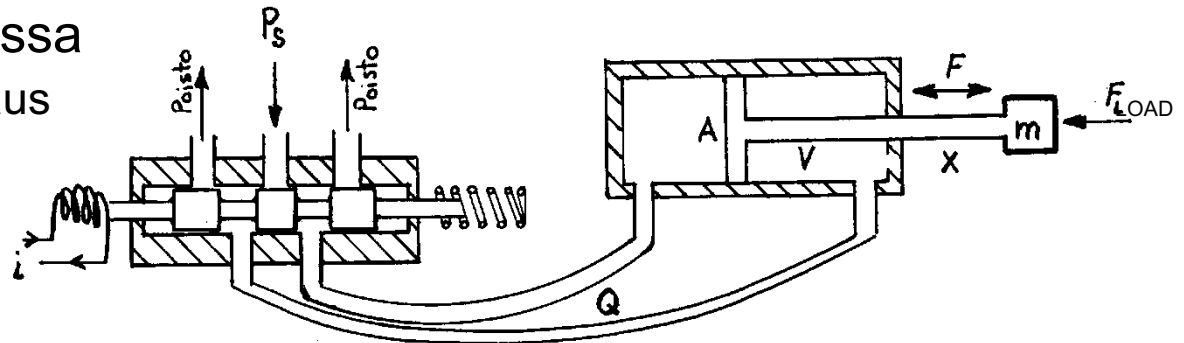


Hydrauliikkaventtiilit

- Proportionaaliventtiileissä ohjaus antaa suoraan (mahdollisen esiohjauksen kautta) karan asennon
- Servoventtiileissä on esiohjattu asennoitin, joka asettaa venttiilin karan tarkasti haluttuun asentoon huolimatta karaan vaikuttavista vaihtelevista voimista
- Painekompensoituja: käyttöpaineen vaihteluista huolimatta venttiilin yli pidetään tietty vakioapaine (yleensä säätämällä ohivirtausta)

Venttiisylinteriyhdistelmä - Esimerkki

- $Q = Q_m + Q_L + Q_c$, jossa
 - Q_m = efektiivinen virtaus
 - Q_L = vuotovirta
 - Q_c = kokoonpuristuksen aiheuttama ekvivalentti virtaus



- $Q_m = A\dot{x}$, sylinterin öljytilavuuden muutos aikayksikössä
- $Q_L = PL$, L = vuotovakio, P = paine
- $Q_c = \frac{V}{B} \frac{dP}{dt}$, B = kokoonpuristuvuuskerroin,
 V = kokoonpuristuvan öljyn tilavuus (oletetaan vakioksi)
- $Q = A\dot{x} + PL + \frac{V}{B} \frac{dP}{dt}$

Venttiilisyylinteriyhdistelmä

- Kuormalle liikeyhtälö Newtonin perusyhtälön avulla

$$F = AP = M\ddot{x} + f\dot{x} + F_{LOAD}, \quad (f = \text{viskoosin kitkan vaimennusvakio})$$

- Virtausyhtälö

$$Q = A\dot{x} + PL + \frac{V}{B} \frac{dP}{dt}$$

- Numeerinen integrointi:

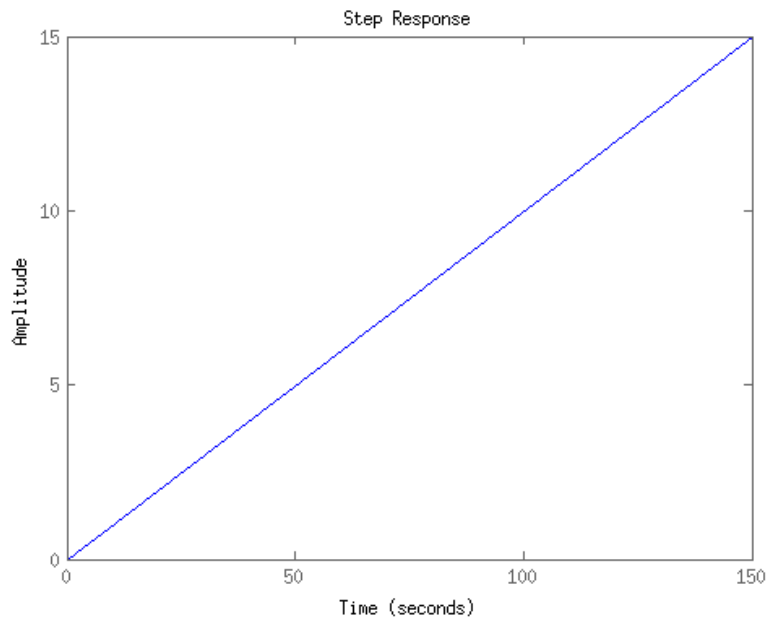
- voidaan laskea paine käyttäen liikeyhtälöä: $P = \frac{(M\ddot{x} + f\dot{x} + F_{LOAD})}{A}$

- Ja männän sijainnin muutos käyttäen virtausta: $\dot{x} = \frac{Q - PL - \frac{V}{B} \frac{dP}{dt}}{A}$

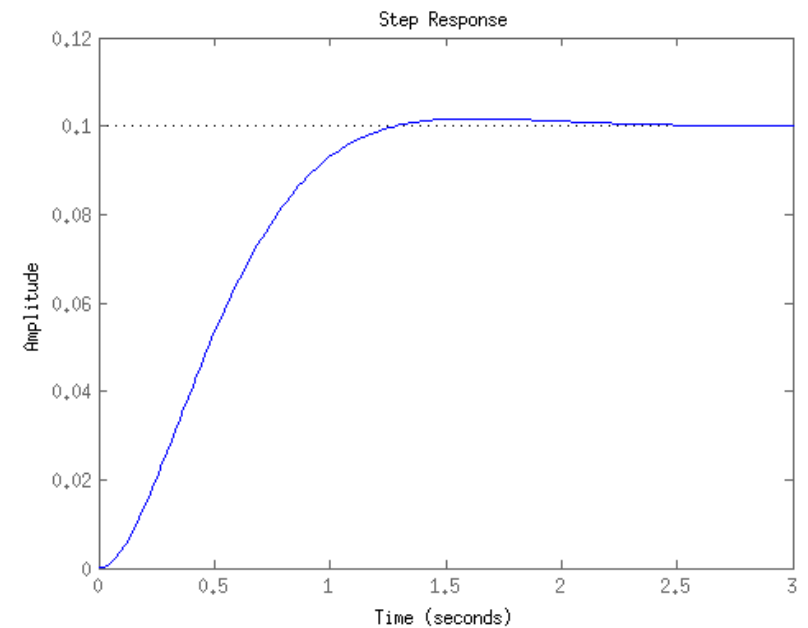
- Sijainti x suhteessa virtaukseen Q saadaan myös analyyttisesti käyttäen Laplace-muunnoksia (Laplace-muunnokset Säättöteorian kurssilla)

Venttiisylinteriyhdistelmän vaste

- Askelvaste virtauksesta männän asentoon aikatasossa

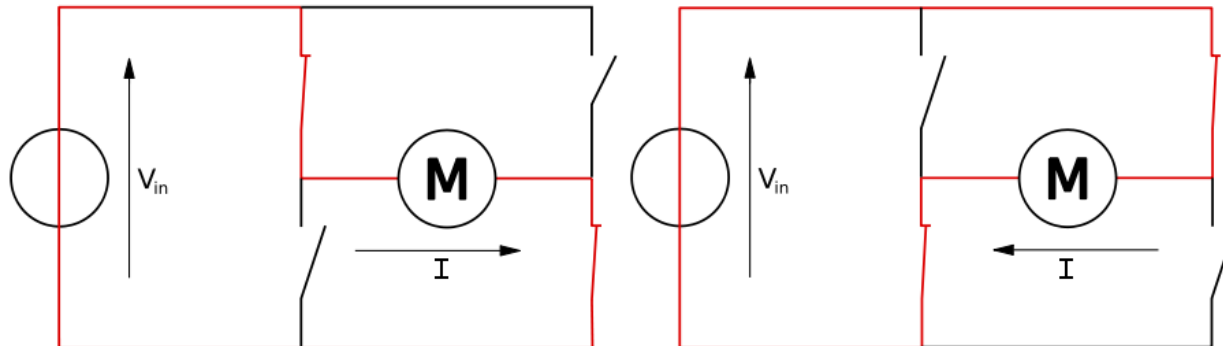


- Männän liikenopeus



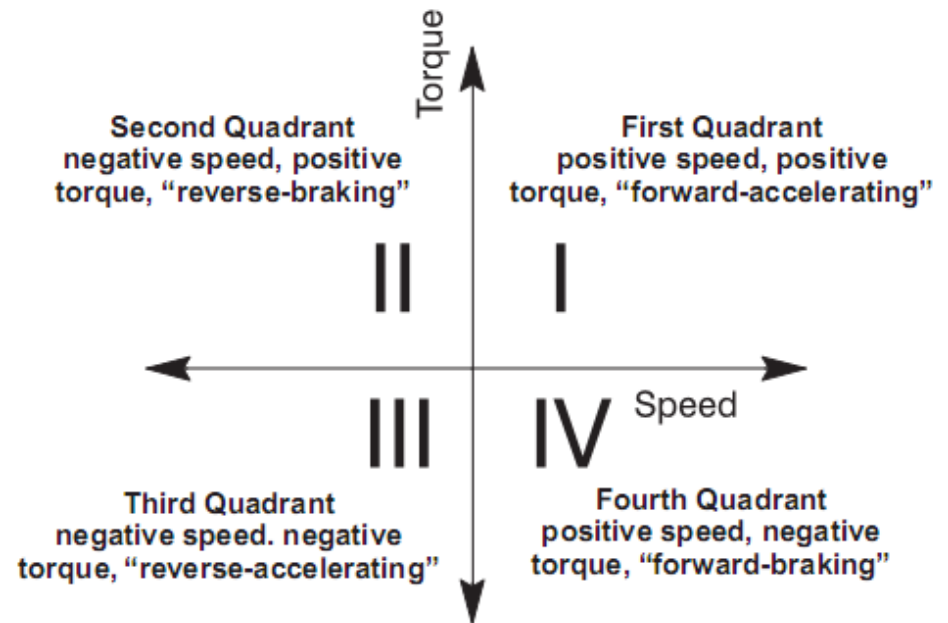
DC-moottorikäytöt

- DC-moottorit (tasavirta) ovat usein hyvä (edullisin) vaihtoehto sovelluksiin, joissa nopeutta pitää pystyä säätämään tarkasti
- Tehoelektroniikan kehittyminen on mahdollistanut täysin puolijohteisiin perustuvan moottorinohjauksen
 - yksinkertaisuus
 - tehokkuus
 - tarkkuus
- Periaatekuva tyypillisestä H-siltakytkennästä



DC-moottorikäytöt

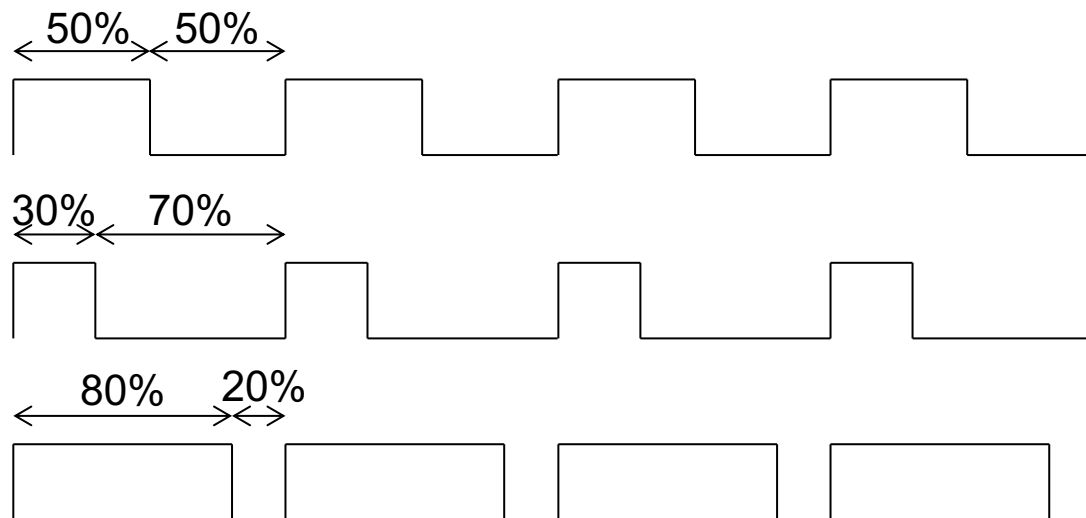
- Moottorikäytöt voidaan luokitella vääntö-nopeus yhdistelmien mukaisesti
 1. kiihdytys eteenpäin
 2. jarrutus taaksepäin
 3. kiihdytys taaksepäin
 4. jarrutus eteenpäin



Kuva: Motorola

Pulssileveysmodulointi (PWM, Pulse Width Modulation)

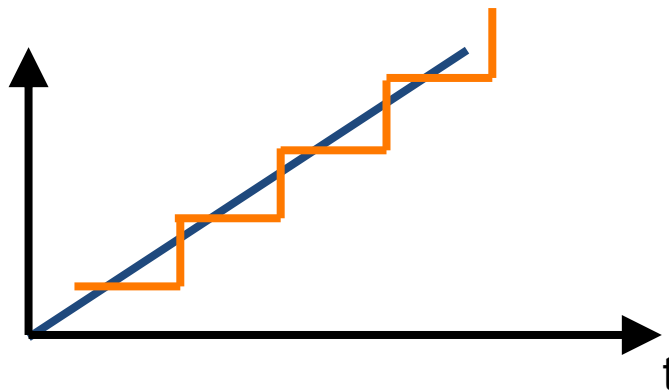
- Moottoreita ohjataan tyypillisesti pulssileveysmodulaatiolla
- Vaihtelemalla kahta jännitettä nopeasti saadaan keskiarvoksi jännite näiden väliltä
- Verrattuna keskiarvojännitteen aiheuttamaan vääntöön PWM:llä saadaan aikaiseksi täysi vääntö hetkellisesti



Näytteistys

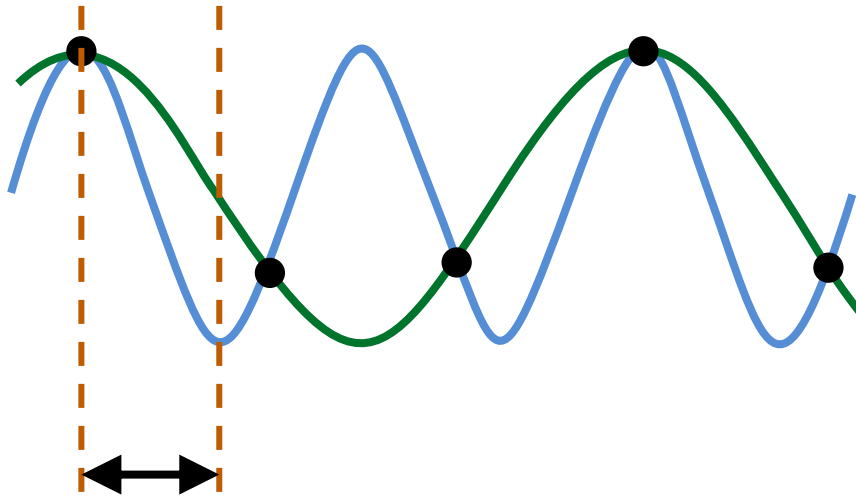
Näytteenotto (näytteistys, sampling)

- Jatkuvasta signaalista muodostetaan numerojono
 - kuvaa fyysistä signaalia digitaalilaitteen sisällä
- Näytteenotossa aiheutuu virhettä (informaation menetystä):
 - Signaalin arvo tunnetaan ainoastaan diskreeteissä aikapisteissä
 - A/D-muuntimen (analogi / digitaali) epätarkkuus aiheuttaa kvantisointivirheen



Näytteenottotaajuuden vaikutus

- Liian alhainen näytteenottoväli aiheuttaa ongelmia. Kahdesta eri signaalista saadaan samat näytteet:



Maksimi näytteenottoväli = vähemmän kuin puolet korkeataajuisimman signaalin aallonpituudesta

Näytteenottotaajuuden vaikutus

- Shannonin-Nyquistin teoreema asettaa alarajan *näytteistystaajuudelle (sampling rate)*.
- Shannonin versio: *Jos funktio $x(t)$ ei sisällä B Hz suurempia taajuuksia, se on täysin määritelty käyttäen alle $1/(2B)$ s välein otettuja näytteitä.*
- Mikäli näytteistystaajuus on liian matala, tapahtuu *laskostumista (aliasing)*.

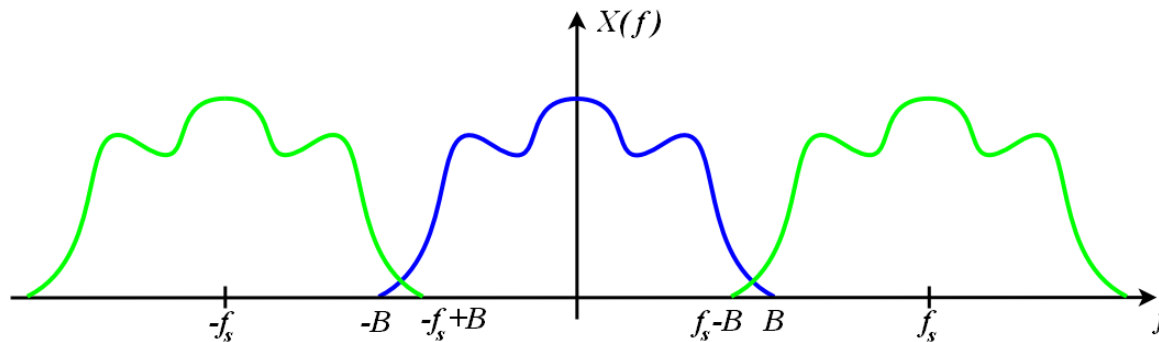
Näytteenotto – Esimerkkejä

- Laskostuminen kuvissa
 - Näkyy Moiré-ilmionä



Signaalin spektri (taajuussisältö)

- Signaalin Fourier-muunnoksen amplitudi.



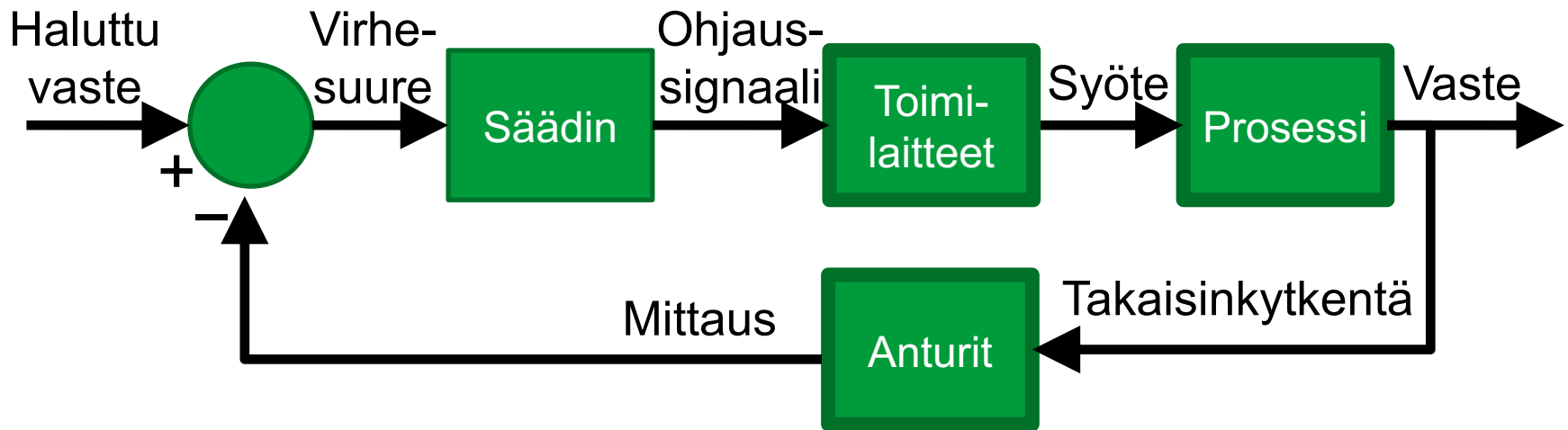
Laskostumisen estäminen

- Riittävän korkea näytteenottotaajuus
 - ”Riittävän korkea” = enemmän kuin $2x$ korkein signaalin taajuus, yleensä huomattavasti korkeampi, esimerkiksi $5x$
- Signaalin alipäästösuodattaminen
 - Esimerkiksi kohina voi aiheuttaa signaaliin taajuuksia, joita ei voi ennakoida

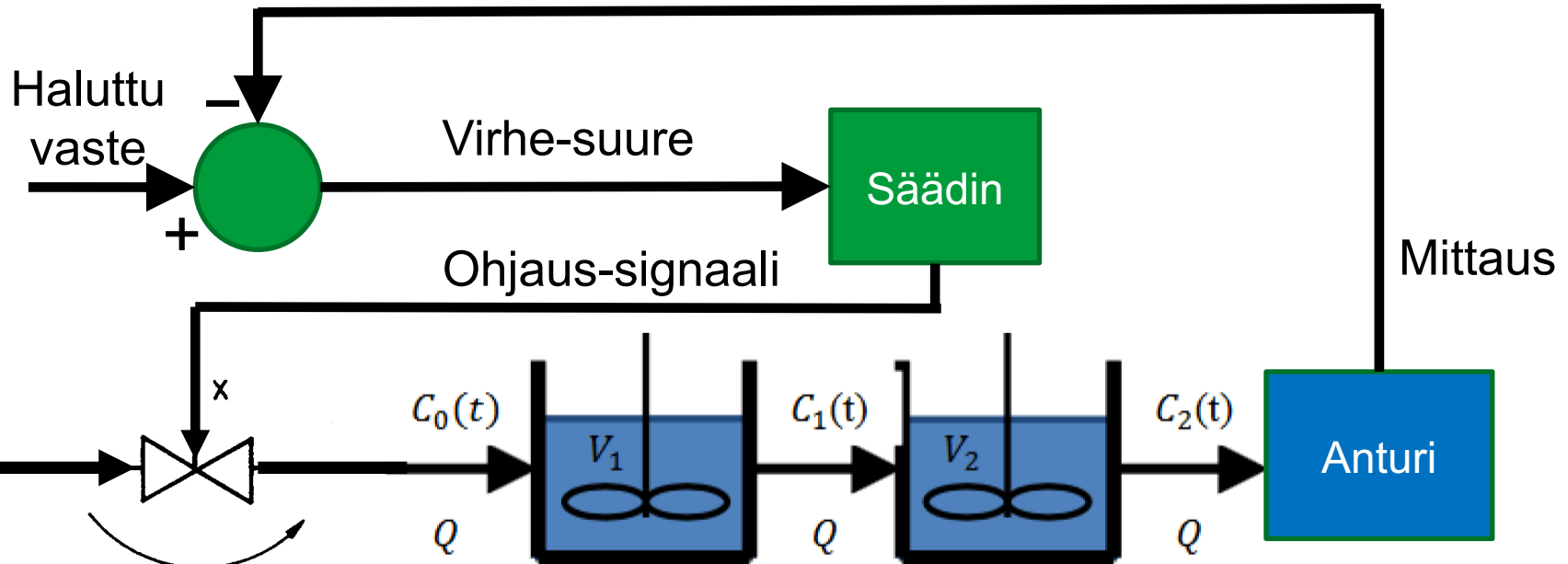
Toimilaite, prosessi ja näytteistys yhdessä

Mallit yhdessä

- Toimilaitteet, prosessi, anturit
- Katsotaan virtaus-vesitankki esimerkki



Virtaus-vesitankki esimerkki



$$Q = C(x(t)) \cdot \sqrt{\Delta p}$$

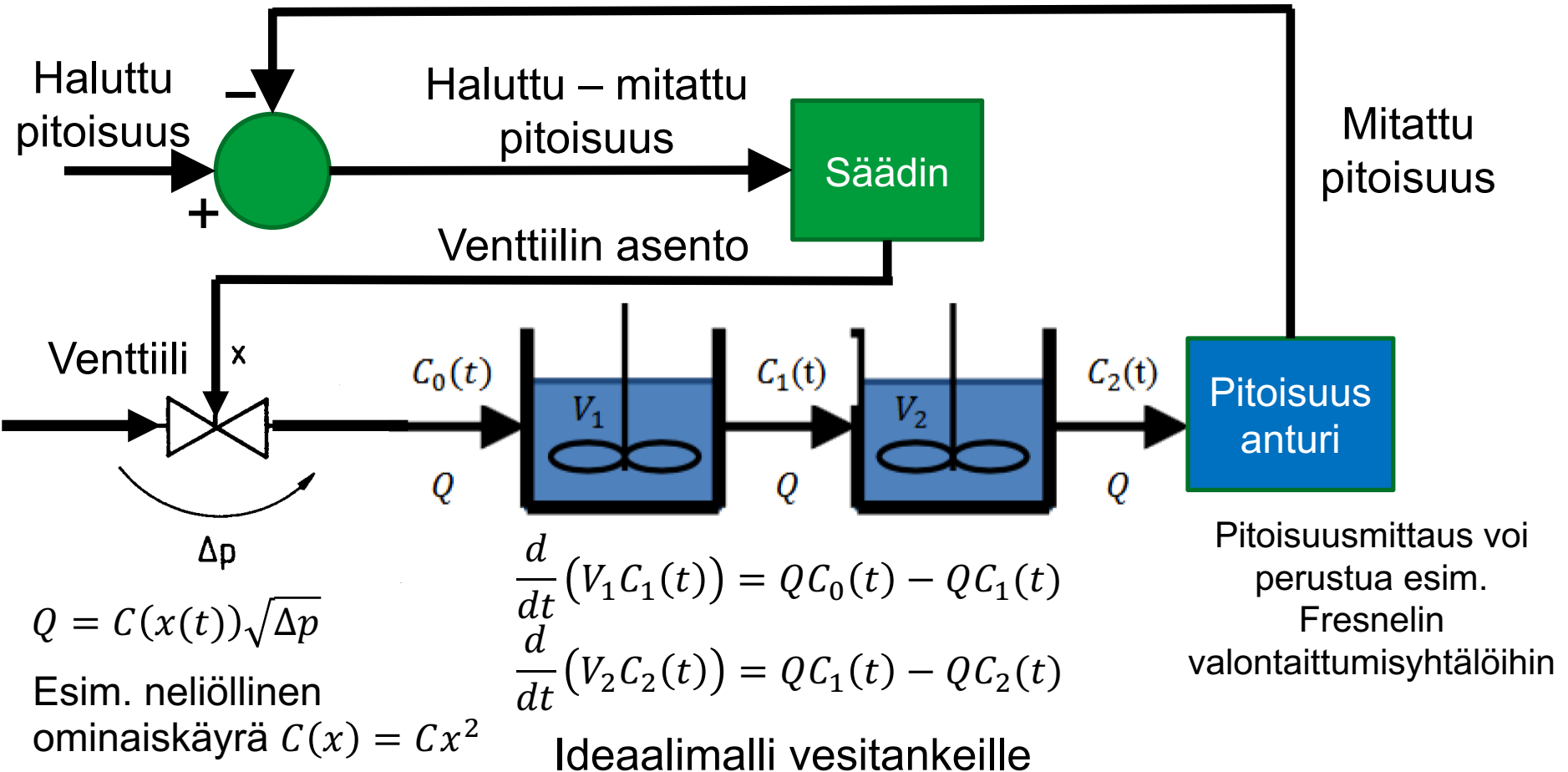
$$\frac{d}{dt}(V_1 C_1(t)) = Q C_0(t) - Q C_1(t)$$

$$\frac{d}{dt}(V_2 C_2(t)) = Q C_1(t) - Q C_2(t)$$

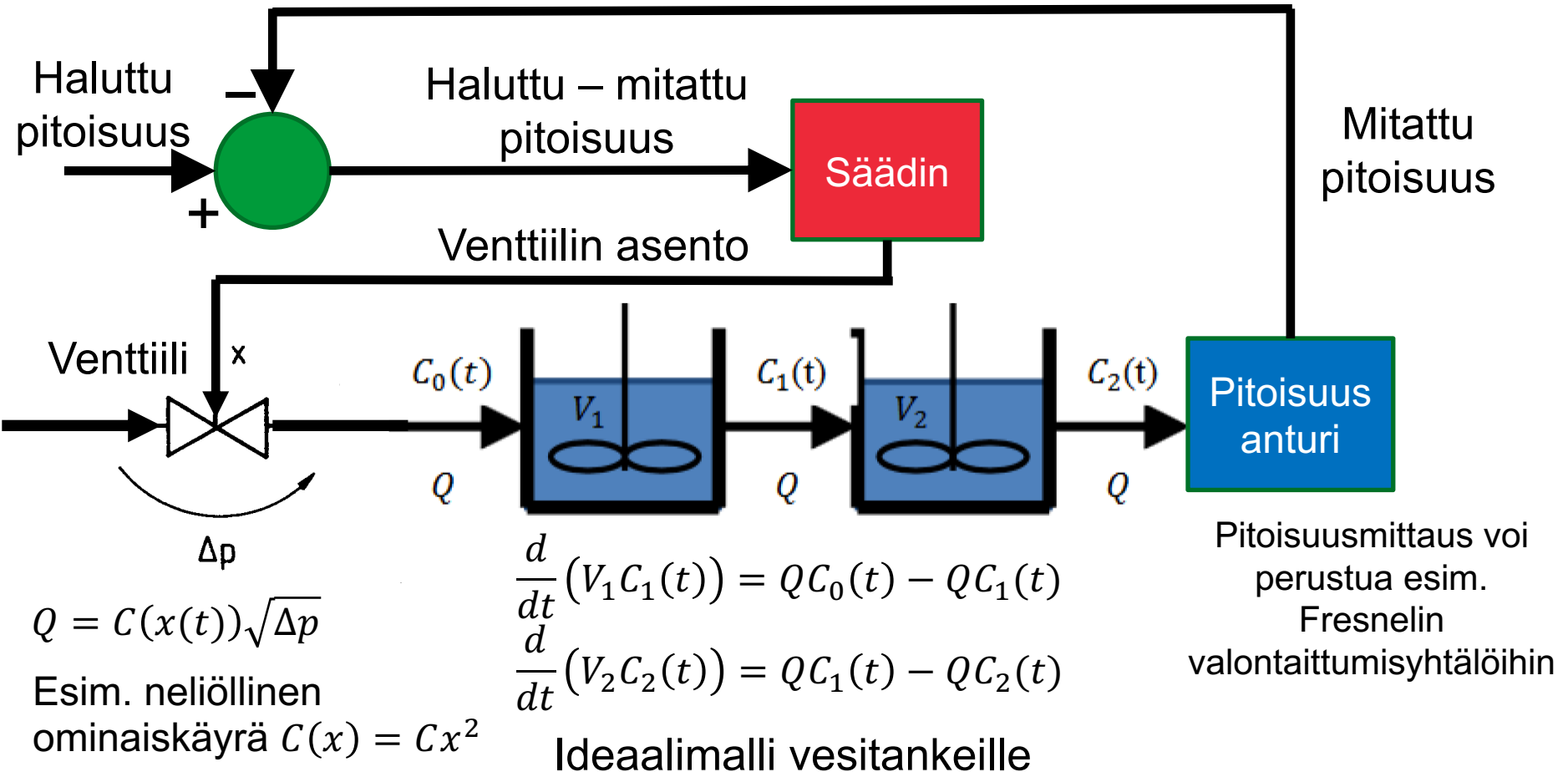
Toimilaite

Prosessi

Virtaus-vesitankki esimerkki



Virtaus-vesitankki: mitä puuttuu?



Mitä tänään opittiin?

- Toimilaitteita
 - Venttiilit
 - Hydraulikka
 - Sähkökäytöt
- Näytteistys, laskostuminen, suodatus
- Mallit yhdessä
- Ensikerralla säädin