

## Løsning til sluttprøve i EK3114 Automatisering og vannkraftregulering ved Høgskolen i Telemark

Sluttprøvens dato: 2.12 2015. Varighet 5 timer. Vekt i sluttkarakteren: 100%.

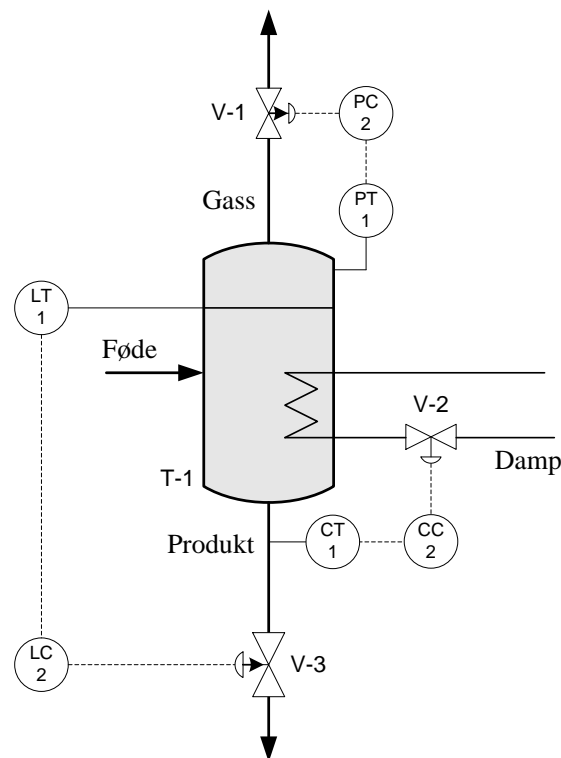
Emneansvarlig: Finn Aakre Haugen (finn.haugen@hit.no).

### Løsning til oppgave 1 (10%)

- (7%) Reguleringsavviket er differansen mellom temperatursettpunktet og temperaturmålingen fra sensoren (TT). Regulatoren (TC) justerer pådraget på varmeelementet (aktuatoren) så lenge reguleringsavviket er forskjellig fra null, altså så lenge målingen er forskjellig fra settpunktet. Justeringen pågår helt til avviket er blitt null, og da holdes pådraget fast, inntil avviket igjen blir forskjellig fra null. Mulige årsaker til at avviket blir forskjellig fra null, er endringer i prosessforstyrrelsene, som er innløpstemperaturen  $T_{in}$  og omgivelsestemperaturen  $T_e$  og innstrømmen  $w$ , samt endringer i settpunktet. Regulatoren vil altså justere pådraget for å bringe avviket til null etter slike endringer.
- (3%) Simuleringene viser at avviket går mot null med automatisk reglatoormodus, mens avviket er forskjellig fra null med manuell reglatoormodus. Automatisk modus er derfor fordelaktig framfor manuell modus.

### Løsning til oppgave 2 (10%)

Se figur 1. (Bruker bokstavkode C for konsentrasjon.)



Figur 1

### Løsning til oppgave 3 (5%)

Olje har tettet lik ca  $850 \text{ kg/m}^3$ . Nivået blir

$$\underline{h} = \frac{p}{\rho g} - h_0 = \frac{0,1 \cdot 100000 \text{ N/m}^2}{850 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} - 0,5 \text{ m} = \underline{\underline{0,70 \text{ m}}}$$

### Løsning til oppgave 4 (10%)

Massebalanse:

$$dm/dt = \rho \cdot q_i - \rho \cdot q_u$$

Her er

$$m = \rho \cdot A \cdot h$$

som innsatt i massebalansen, gir

$$d(\rho \cdot A \cdot h)/dt = \rho \cdot q_i - \rho \cdot q_u$$

der  $\rho \cdot A$  kan trekkes utenfor derivasjonen:

$$\rho \cdot A \cdot dh/dt = \rho \cdot q_i - \rho \cdot q_u$$

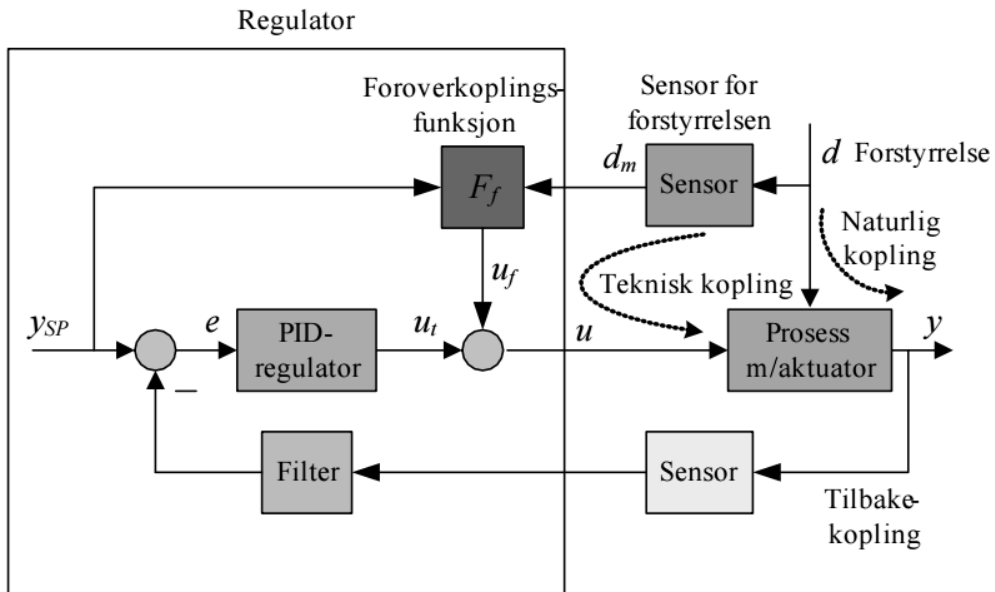
som, etter forkorting av  $\rho$  og divisjon med  $A$ , gir

$$\underline{dh/dt = (q_i - q_u)/A}$$

### Løsning til oppgave 5 (10%)

- a) (7%) Se figur 2. Foroverkoplingen utgjør en (teknisk) kopling fra en måling av forstyrrelsen som motvirker den naturlige koplingen fra forstyrrelsen til prosessutgangen slik at nettovirkningen som forstyrrelsen har på prosessutgangen, blir null (ideelt sett). Foroverkoplingen implementerer også en direkte kopling fra settpunktet til pådraget, hvilket gir presis settpunktsfølging. Pga. uunngåelig modellunøyaktighet (eller modellfeil) kan foroverkoplingen i praksis ikke beregne det perfekte pådraget, hvilket medfører at det oppstår et reguleringsavvik. Tilbakekoplingen vil justere pådraget på basis av dette avviket og dermed kunne

redusere avviket, og gi null avvik under statiske forhold.



Figur 2

- b) (3%) Eksempler på prosessforstyrrelser: Utetemperatur (eks. på prosess: bioreaktor). Innløpstemperatur (f.eks. bioreaktor). Luftstrømning (f.eks. varmluftrør). Vind (skip). Vannstrøm (skip). M.fl.

### Løsning til oppgave 6 (6%)

Generelt: Aktivt D-ledd gir relativt støyfylt pådrag. Målefilter demper målestøy og reduserer derfor pådragsstøy. Vi kan da konkludere:

- Tidsintervall 1: PID-regulator uten målefilter
- Tidsintervall 2: PID-regulator med målefilter
- Tidsintervall 3: PI-regulator med målefilter

### Løsning til oppgave 7 (5%)

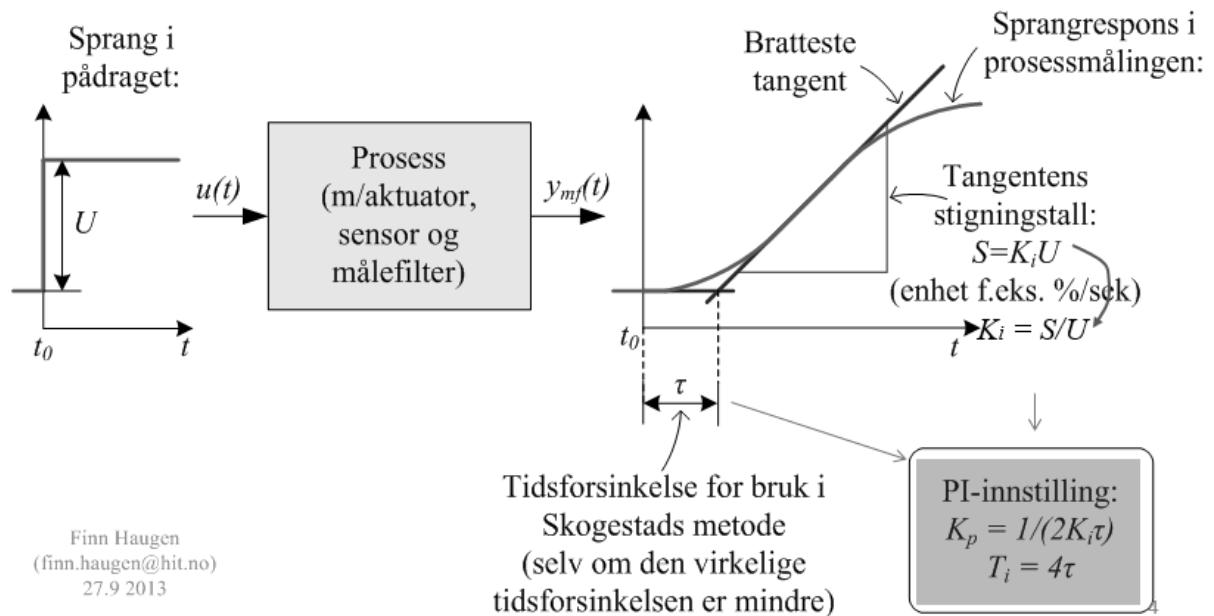
Anta først at trykket er lik trykksettpunktet (målingen er lik settpunktet). Anta så at trykket i tanken av en eller annen grunn øker (målingen blir større enn settpunktet). For å få trykket ned igjen til settpunktet, må ventilen åpnes mer, hvilket oppnås med en reduksjon av pådragssignalet. Altså: Økning av målingen krever reduksjon av pådraget, hvilket tilsier at regulatoren skal ha reversvirkning.

### Løsning til oppgave 8 (6%)

Figur 3 beskriver (og illustrerer) Skogestads metode.

## Skogestads metode

for innstilling av en PI-regulator basert på sprangrespons når prosessen betraktes som «integrator med tidsforsinkelse»-prosess:



Figur 3

### Løsning til oppgave 9 (8%)

- a) (3%) Antar som eksempel nivåreguleringssystemet for flistanke (som er et gjennomgående eksempel i emnet):
- Eksempler på økt prosessforsterkning: Økt skrukapasitet. Redusert overflateareal av flis i tanken.
  - Eksempel på økt tidsforsinkelse i prosessen: Økt transporttid på transportbåndet.
- b) (5%) Det er hensiktsmessig å anta PI-regulatoren opprinnelig er innstilt vha. Skogestads metode for «integrator med tidsforsinkelse»-dynamikk:

$$K_{p0} = 1/(2 \cdot K_{i0} \cdot \tau_{00}) \text{ og } T_{i0} = 4 \cdot \tau_{00}$$

En økning av forsterkningen i prosessen med en faktor på 3 innebærer at

$$K_{i1} = 3 \cdot K_{i0}$$

En økning av tidsforsinkelsen i prosessen med en faktor på 2 innbærer at

$$\tau_{01} = 2 \cdot \tau_{00}$$

Den nye PI-innstillingen blir da

$$\underline{K_{p1}} = 1/(2 \cdot K_{i1} \cdot \tau_{01}) = 1/[2 \cdot (3 \cdot K_{i0}) \cdot (2 \cdot \tau_{00})] = (1/6) \cdot 1/(2 \cdot K_{i0} \cdot \tau_{00}) = \underline{(1/6) \cdot K_{p0}}$$

og

$$\underline{T_{i1}} = 4 \cdot \tau_{01} = 4 \cdot (2 \cdot \tau_{00}) = 2 \cdot (4 \cdot \tau_{00}) = \underline{2 \cdot T_{i0}}$$

### Løsning til oppgave 10 (15%)

- a) (8%) En har fire reguleringsmodi for et småkraftverk av den utforming som er vist til i beskrivelsen i oppgaven:

- Tilsig 0 – 50 liter/s: Kraftverket står inntil tilsiget stiger over 50 l/s og alt vannet prioriteres for minstevannføring (pålagt i tillatelsen som er gitt for bygging av kraftverket).
  - Tilsig 0,05 – 0,80 m<sup>3</sup>/s: En slipper fremdeles minstevannføring. Videre kjøres kraftverket intermitterende ved at det starter når inntaksmagasin er tilnærmet fullt – for eksempel 5 cm under overløp på dammen – og kjøres på minimum vannføring 0,75 m<sup>3</sup>/s inntil vannstanden i dammen er redusert til f.eks. 40 cm under damkrona (det bør være en viss margin mot den tillatte vannstandsendringen på 50 cm.) for da å stoppe. Det ventes så med ny start inntil 'normalvannstanden' er nådd med tilgjengelig tilsig med fradrag for minstevannføring. (Dette kan med tilsig f.eks. 0,5 m<sup>3</sup>/s ta  $(2500 * 0,4 \text{ m}^3) / (0,45 \text{ m}^3/\text{s} * 60 \text{ s}/\text{min}) = 37 \text{ min.}$ )
  - Tilsig 0,8 – 1,55 m<sup>3</sup>/s: Det tappes minstevannføring. Vannstandsregulatoren holder vannstanden i inntaksmagasinet tilnærmet konstant ved å regulere effekten / vannforbruket i turbinen tilnærmet likt tilsiget.
  - Tilsig >1,55 m<sup>3</sup>/s: Det tappes minstevannføring (normalsituasjon fordi det ikke er praktisk å stoppe denne selv med overløp.) Aggregatet kjøres på full effekt og øvrig tilsig renner over dammen.
- b) (4%) En vil normalt kunne benytte en PI-regulator innstilt tilsvarende som nivåregulatorer for øvrig i automatisering. En 'tuner' regulerer slik at største reguleringsavvik ved forventet største endring i tilsig. Dette kan f.eks. være ved endring av vannføring i en elvestreng og hvor en har flere kraftverk etter hverandre som hver for seg går med vannstandsregulatorer.
- c) (3%) Effekten beregnes fra oppgitt formel med resultatet ut i kW når tetthet settes 1. Svaret blir da  $P_{\max} = 1 * 8 * 100 * 1,5 \text{ kW} = 1.200 \text{ kW} = 1,2 \text{ MW}$

### Løsning til oppgave 11 (15%)

- a) (5%) Samlet regulerstyrke i systemene A og B til sammen beregnes som:
- $$R_{\text{tot}} = -2 * 2.000/5 - 2 * 10.000/10 = -2.800 \text{ MW/Hz}$$
- Frekvensavviket ved utfall av 280 MW beregnes fra denne samlede regulerstyrken til
- $$\Delta f = \Delta P / R_{\text{tot}} = (-280 \text{ MW}) / -2.800 \text{ MW/Hz} = 0,1 \text{ Hz}$$
- $\Delta f$  og  $\Delta P$  er beregnet frekvensavvik henholdsvis effektendringen.
- Frekvensen før utfallet forutsettes 49,95 Hz og etter utfallet  $49,95 + 0,1 \text{ Hz} = 50,05 \text{ Hz}$ .
- b) (5%) Frekvensen etter utfallet er konstant og viser balanse mellom last og produksjon. Utfallet medført lastreduksjon på 280 MW og systemene A og B må da også ha redusert produksjon med tilsvarende. I dette tilfellet skal sekundærreguleringen bare ta ned produksjonen med 50 % av utfallet pga. frekvensavviket over 50 Hz bare er halvparten av den frekvensendringen utfallet gav. Når en regulerer ned system A med 100 MW vil resterende for system B være
- $$\Delta P_B = 0,5 * 280 \text{ MW} - 100 \text{ MW} = 40 \text{ MW}$$
- c) (5%) Etter primærreguleringen ved utfallet med 280 MW i B vil regulatorer i A redusere produksjonen med  $\Delta P_A = -800 \text{ MW/Hz} * 0,1 \text{ Hz} = -80 \text{ MW}$  og de resterende -200 MW i B. (Regulerstyrke for enkeltsystemene A og B er gitt av de to leddene i første beregning i a.)

Overføringen fra A til B før utfallet var 500 MW og denne reduseres da med de 80 MW som primærreguleringen i A gir. Effektoverføringen endres da til 420 MW.