

Model Predictive Control of a Sewer System

June 14, 2018

Group 1030

Jacob Naundrup Pedersen

Thomas Holm Pilgaard

Department of Electronic Systems

Aalborg University

Denmark



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

Typisk opbygning af kloak ledning

Agenda

Group 1030

2

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

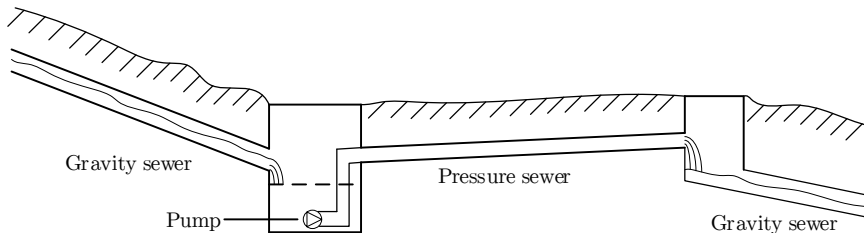
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





Resning af spildevand

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Mekanisk rensning.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- Mekanisk rensning.
- Sandfang.



Resning af spildevand

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning.
- ▶ Sandfang.
- ▶ Primær rensning.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning.
- ▶ Sandfang.
- ▶ Primær rensning.
- ▶ Sekundær rensning.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning.
- ▶ Sandfang.
- ▶ Primær rensning.
- ▶ Sekundær rensning.
- ▶ Kemisk rensning.



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

► Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- ▶ Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
 - ▶ Større udledninger uden varsel

Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- ▶ Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
 - ▶ Større udledninger uden varsel
 - ▶ Problemer for aerobe bakterier

Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

► Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.

- Større udledninger uden varsel
- Problemer for aerobe bakterier
- Andre forstyrrelser

Problem formulering

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

5

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

How can a simulation environment be constructed, which mimic the behavior of a real sewer system, where MPC is utilized as the control scheme to obtain stable sewage output such that optimal performance can be obtained from a WWTP.

Udgangspunkt i et virkeligt setup

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

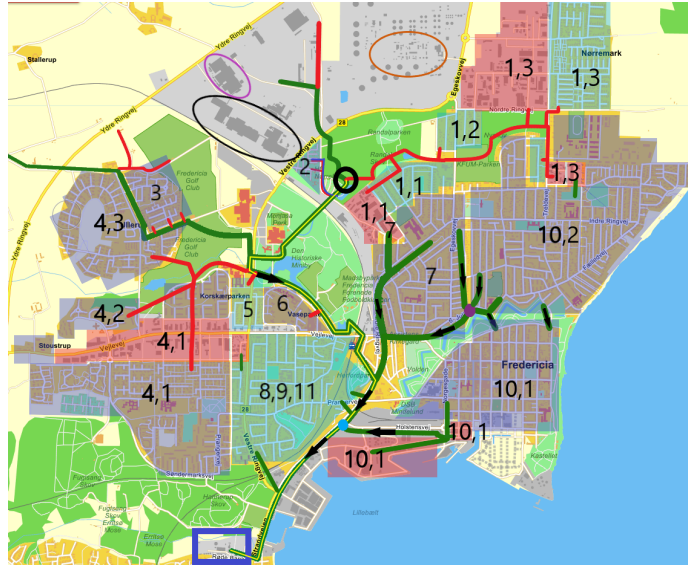
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

6



Udgangspunkt i et virkeligt setup

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

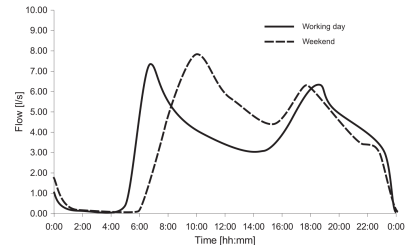
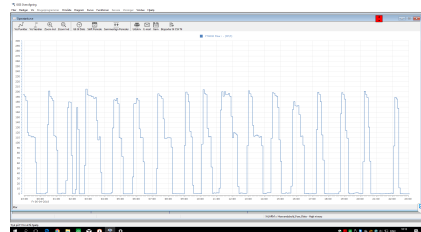
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

7

- Data fra industri.
- Flow profiler af beboelse og mindre industri.



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

► Indsættelse af tank.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

- Indsættelse af tank.
- Afgrænse simulering til enkelt kemisk component.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

- ▶ Indsættelse af tank.
- ▶ Afgrænse simulering til enkelt kemisk component.
- ▶ Runde kloak rør.

4 modeller

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Kloak ledning.
- ▶ Transport af koncentrat i kloak ledning.
- ▶ Sammenkobling af kloakledninger.
- ▶ Tank.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

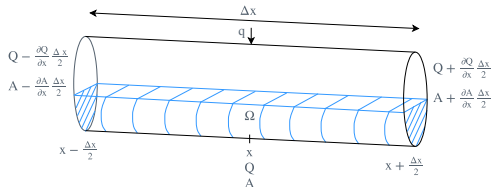
Resultat

Diskussion/Konklusion

10

► Kontinuitets ligning:

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

10

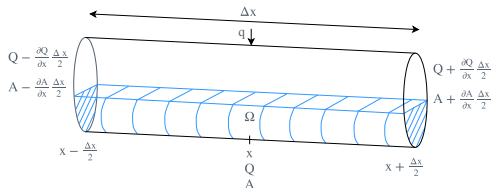
► Kontinuitets ligning:

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$

► Impuls ligning:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) +$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

10

► Kontinuitets ligning:

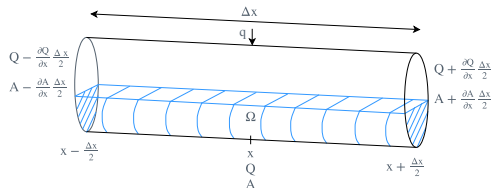
$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$

► Impuls ligning:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) +$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Approksimationer af momentum ligningen.



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

11

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

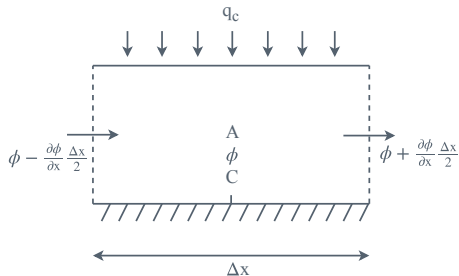
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

$$\blacktriangleright \frac{\partial(A \cdot C)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot C)}{\partial x} = 0$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

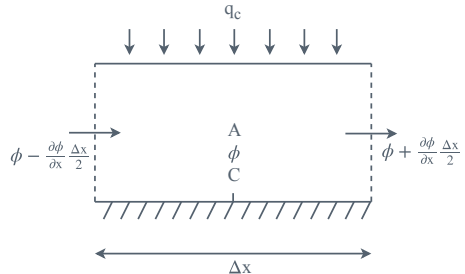
Resultat

Diskussion/Konklusion

11

$$\blacktriangleright \frac{\partial(A \cdot C)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot C)}{\partial x} = 0$$

$$\blacktriangleright C \cdot \frac{\partial(A)}{\partial t} + C \cdot \frac{\partial(Q)}{\partial x} = 0$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

11

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

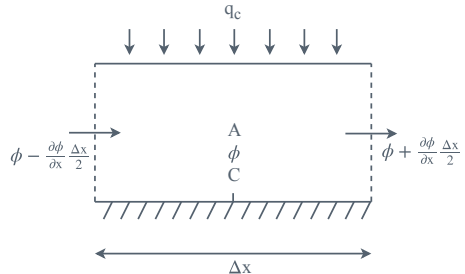
Resultat

Diskussion/Konklusion

$$\triangleright \frac{\partial(A \cdot C)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot C)}{\partial x} = 0$$

$$\triangleright C \cdot \frac{\partial(A)}{\partial t} + C \cdot \frac{\partial(Q)}{\partial x} = 0$$

$$\triangleright A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + Q \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

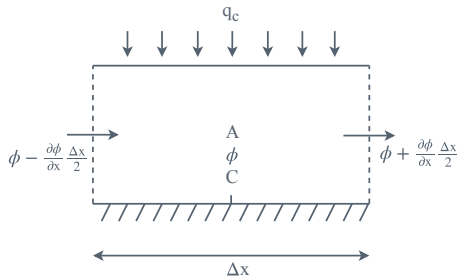
11

$$\triangleright \frac{\partial(A \cdot C)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot C)}{\partial x} = 0$$

$$\triangleright C \cdot \frac{\partial(A)}{\partial t} + C \cdot \frac{\partial(Q)}{\partial x} = 0$$

$$\triangleright A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + Q \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

\triangleright Afhænger af kendt A og Q .



Sammenkobling af kloak ledninger

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

12

► Flow:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

Simulering

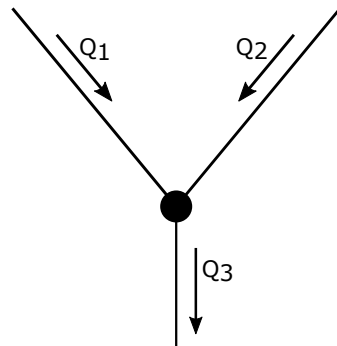
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Sammenkobling af kloak ledninger

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

12

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

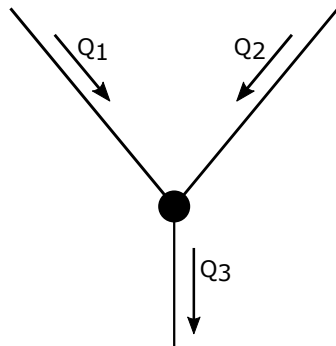
Diskussion/Konklusion

► Flow:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

► Koncentrat:

$$C_3 = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_1 + Q_2}$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

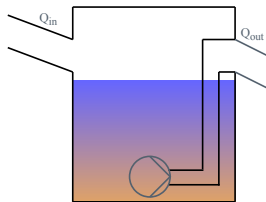
Resultat

Diskussion/Konklusion

13

► Højde:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in}(t) - u(t) \cdot \bar{Q})$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

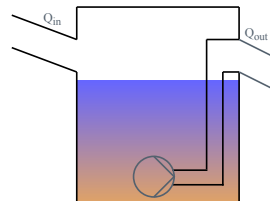
13

► Højde:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in}(t) - u(t) \cdot \bar{Q})$$

► Koncentrat:

$$\frac{dC_{tank}(t)}{dt} = \frac{1}{A} \left(C_{in}(t) \cdot \frac{Q_{in}(t)}{h(t)} - C_{tank}(t) \cdot \frac{Q_{out}(t)}{h(t)} \right)$$





Tre dele

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Initialisering

14

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- **Intialisering**
- Opsætning af komponenter.

14

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.

14

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**

14

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**
- ▶ Iterativ beregning af komponenterne

14

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**
- ▶ Iterativ beregning af komponenterne
- ▶ **Gennemgang af resultat**

14

42

Playback funktion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

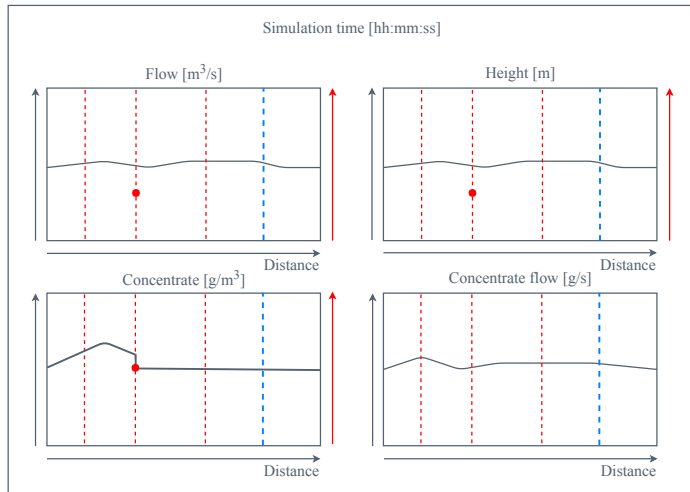
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

15





Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Kinematisk bølge aproksimering.
- ▶ Fyldningsgrad kurve for rør.

16

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

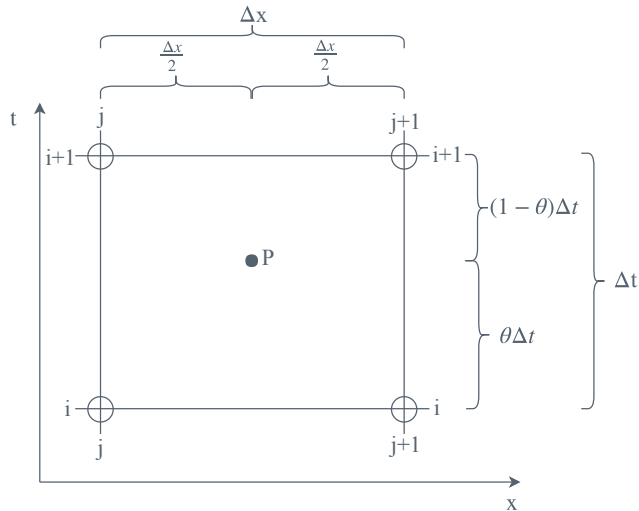
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

17



42

Preissmann iteration

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

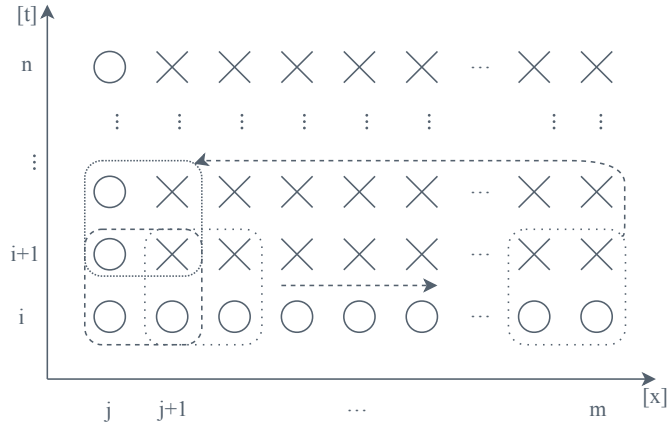
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

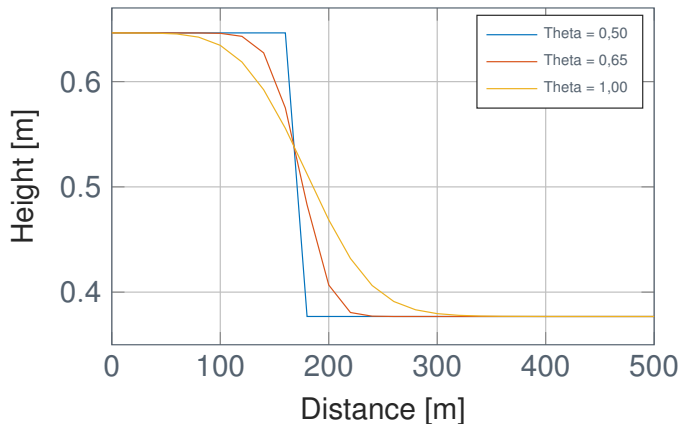
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

19

► Ubetinget
stabilitet





Courant's tal

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Indikation af præcision

20

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Indikation af præcision

►
$$C_r = \frac{\sqrt{g \cdot \bar{H}} \cdot \Delta t}{\Delta x}$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

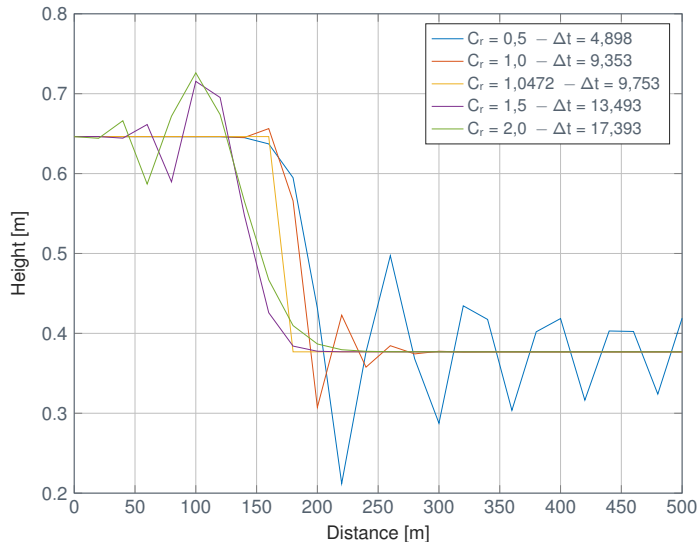
Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

21



42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

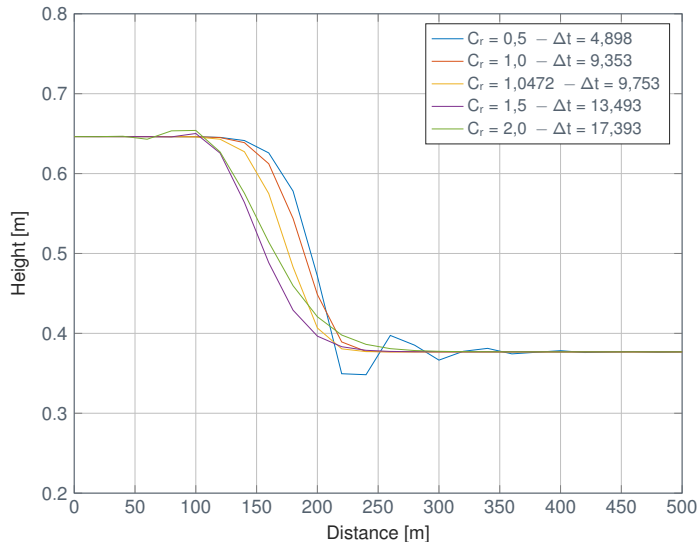
Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

22





Indhold

Jacob Naundrup Pedersen

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

23

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Implementering
- Kontrol
- Resultater
- Diskussion/Konklusion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

24

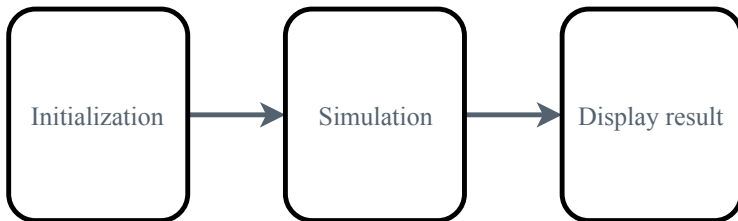
Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

25

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

1. Pipe

- ▶ Længde [m]
- ▶ Sektioner
- ▶ S_b (Hældning) [‰]
- ▶ $\Delta x = \text{Længde/Sektioner}$ [m]
- ▶ Diameter [m]
- ▶ Theta
- ▶ Q_f [m³/s]
- ▶ Side inflow
- ▶ Placering i data

2. Tank

- ▶ Størrelse [m³]
- ▶ Højde [m]
- ▶ $\text{Areal} = \text{Størrelse} / \text{Højde}$ [m²]
- ▶ Maximum outflow [m³/s]
- ▶ Placering i data

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

26

Kontrol




Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Steady state
- System opsætning

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	35
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	17	207
4	'Tank'	1	1
5	'Pipe'	1	38
6	'Total'	21	282

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

27

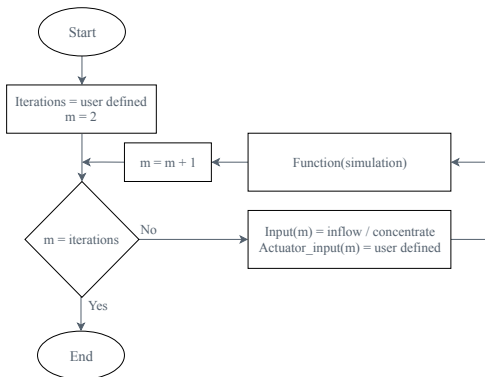
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Iterere igennem rør og tank for hvert tidsskridt



Implementering Display

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

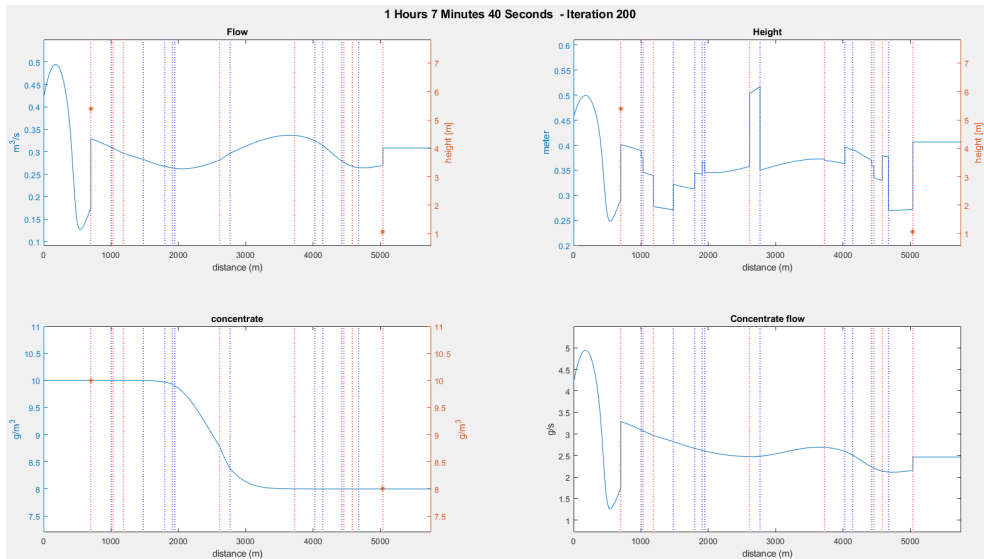
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

28

42



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Linear model til MPC

► Linearisering af kontinuitets ligningen

► Højde states

► Priessmann scheme

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial A(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} = 0$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Opsat på matrix og vektor form

► Opstilles på state space form

$$\begin{bmatrix} \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_a & \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_j^{i+1} \\ h_{j+1}^{i+1} \end{bmatrix} =$$

$$- \begin{bmatrix} \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_c & \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_j^i \\ h_{j+1}^i \end{bmatrix}$$

30

Kontrol

Opsætning på state space

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & b_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_1 & b_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{m-1} & b_m \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ h_1^{i+1} \\ h_2^{i+1} \\ \vdots \\ h_m^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_0 & d_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_1 & d_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_{m-1} & d_m \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^i \\ h_1^i \\ h_2^i \\ \vdots \\ h_m^i \end{bmatrix}}_{x(k)} +$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ -a_0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_B h_0^{i+1} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dh}{dQ} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_d} d_0^{i+1}$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensingsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- e - Forøgelse af højde i tank(inflow)
- f - Reducering af højde i tank(Outflow)
- g - Inflow i efterfølgende rør

$$\underbrace{\begin{bmatrix} b_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a_{2,1} & b_{2,2} \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^{i+1} \\ h_{tank}^{i+1} \\ h_{2,0}^{i+1} \\ h_{2,1}^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} \\
 = \underbrace{\begin{bmatrix} d_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ e & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{2,0} & d_{2,1} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^i \\ h_{tank}^i \\ h_{2,0}^i \\ h_{2,1}^i \end{bmatrix}}_{x(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -f \\ 0 & g \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_B \begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ u_{tank} \end{bmatrix}$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preismann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Samligning af ulineær og linear model
- ▶ System setup
- ▶ Sinus input

Type	Components	Sections
Pipe	1	35
Tank	1	1
Pipe	18	227
Total	20	263

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

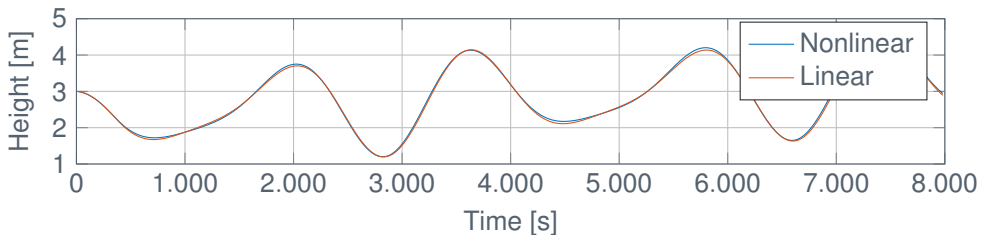
Resultat

Diskussion/Konklusion

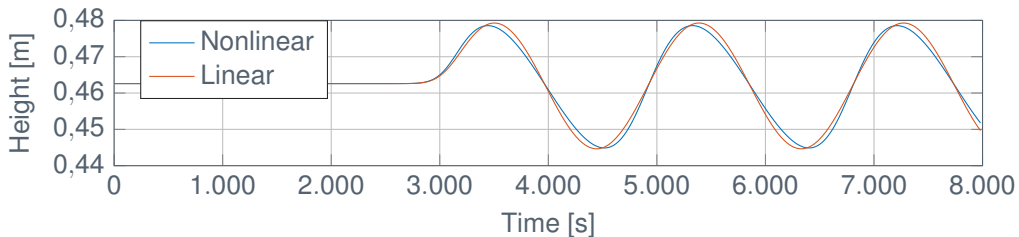
34

42

Tank højde



Output af sidste rør



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Cost function
 - ▶ Afgrænset til at minimiere flow variationer
- ▶ Constraints
 - ▶ Højde
 - ▶ Kontrol input
- ▶ Prediction model

35

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering




Kontrol

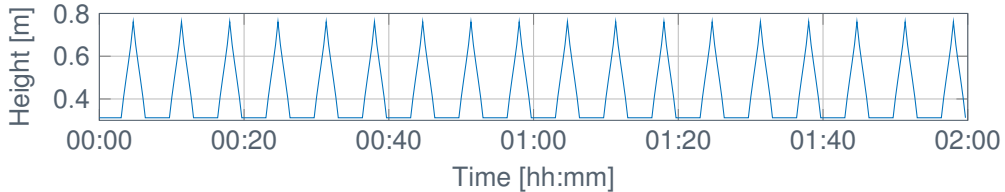
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Begrænsning af Prediction horizon
- System setup
- Forstyrrelses input

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	5
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	1	5
4	'Total'	3	11



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

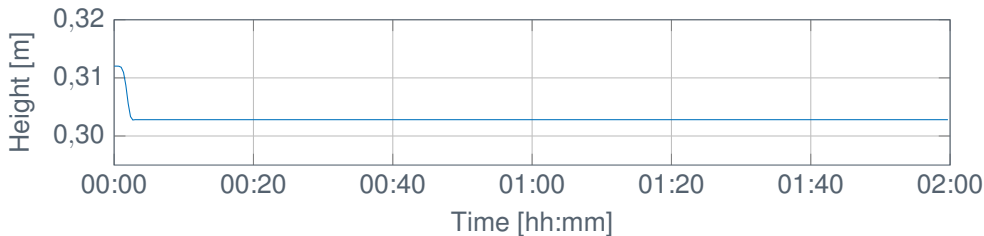
Resultat

Diskussion/Konklusion

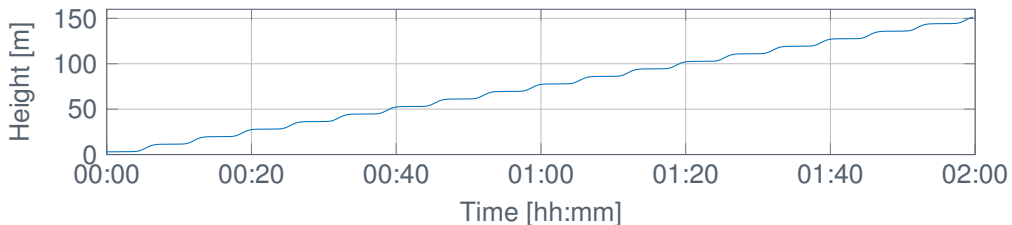
37

42

Output højde af tank



Tank højde



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

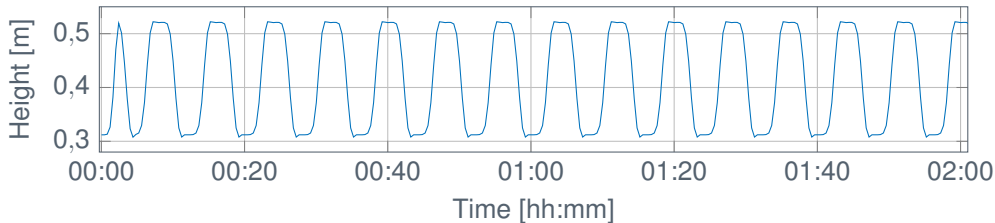
Resultat

Diskussion/Konklusion

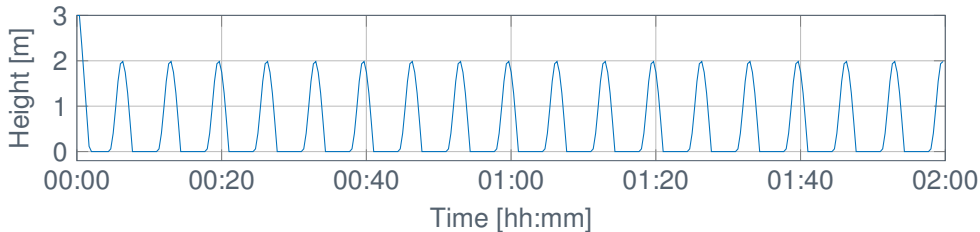
38

42

Output højde af tank



Tank højde



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ System setup, efterligning af Fredericia
- ▶ Flow profiler

Type	Component	Sections
Pipe	1	35
Tank	1	1
Pipe	17	207
Tank	1	1
Pipe	1	38
Total	21	282

39

42

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

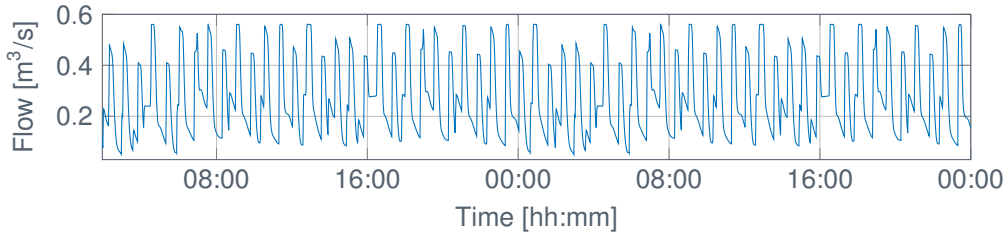
Kontrol

Linearisering
MPC

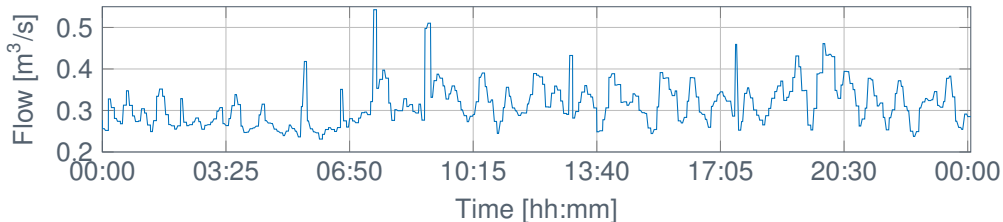
Resultat

Diskussion/Konklusion

Output flow



Data fra Fredericia



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preisssmann
Implementering

Kontrol

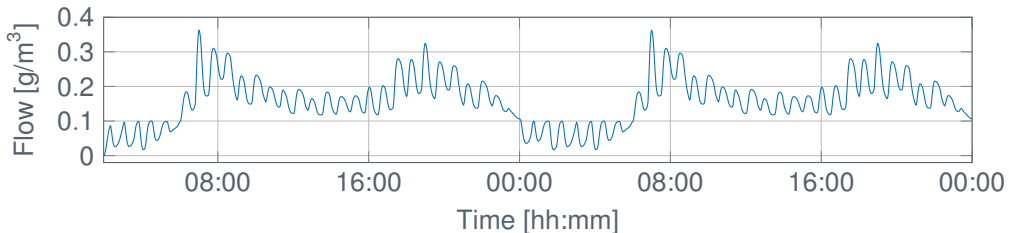
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

41

Output koncentration



42



Diskussion/Konklusion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

42

- ▶ Courant's tal
- ▶ Model reduktion
- ▶ Simulering
- ▶ MPC

42